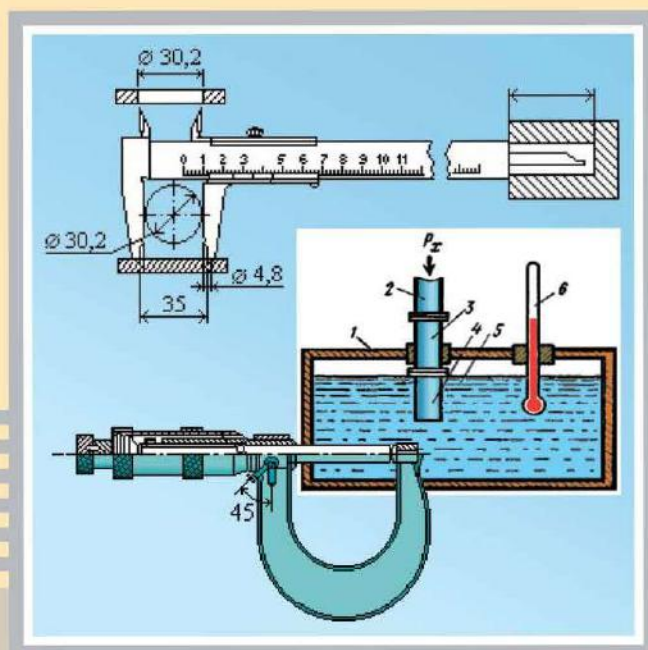


Ю. В. Коловский

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Учебник



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ
СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Ю. В. Коловский

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Рекомендовано Учебно-методическим объединением по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации в качестве учебника для студентов вузов по направлению 210200

Красноярск
ИПК СФУ
2009

УДК 006.91(07)
К60

Рецензенты:

Б. А. Беляев, доктор технических наук, профессор Сибирского государственного аэрокосмического университета;

В. И. Новиков, главный метролог ОАО «Информационные спутниковые системы им. академика М. К. Решетнёва»

Коловский, Ю. В.

К60 Метрология, стандартизация и технические измерения : учеб. /
Ю. В. Коловский. – Красноярск : ИПК СФУ, 2009. – 432 с.
ISBN 978-5-7638-1336-4

Рассмотрены исходные положения теории измерений, свойства и источники погрешности. Приведены отдельные положения прикладной статистики, регламентированные в нормативной документации и используемые для оценки погрешностей измерения; методики определения показателей точности прямых, косвенных, совместных и совокупных измерений. Даны примеры расчета показателей точности.

Предназначен для студентов направления подготовки бакалавров 210200.62 «Проектирование и технология электронных средств» укрупненной группы 210000 «Электронная техника, радиотехника и связь».

УДК 006.91(07)

Редактор Л. И. Злобина
Компьютерная верстка: А. Н. Михайлова

Подписано в печать 01.10.2009. Печать плоская
Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 25,1
Тираж 500 экз. Заказ

Издательско-полиграфический комплекс
Сибирского федерального университета
660041, г. Красноярск, пр. Свободный, 82а

ISBN 978-5-7638-1336-4

© Сибирский федеральный
университет, 2009

ВВЕДЕНИЕ

Метрология – это специфическая деятельность людей, главной целью которой является получение достоверной, научно обоснованной информации о реальности.

К основным проблемам метрологии относятся: её законодательная база (стандартизация и сертификация), распространяемая на все сферы деятельности людей; собственно метрологическое обеспечение, требующее создания и эффективного использования различных средств измерения – приборов, установок; методики выполнения измерений, применяемые прежде всего в производстве [1].

Хотя метрология ориентирована на получение истинной (действительной) информации о реальности, но понятия «метрология» и «истина» нетождественны. Истинное знание может быть и ненаучным, всегда сочетает в себе количественные и качественные показатели. Оно может быть получено в самых разных сферах деятельности людей: в обыденной жизни, экономике, политике, искусстве, в инженерном деле. В отличие от метрологии получение знаний о реальности не является главной, определяющей целью этих сфер деятельности (в искусстве, например, главная цель – новые художественные ценности; в инженерном деле – технологии, изобретения; в экономике – эффективность и т. д.).

Важно отметить, что термин «ненаучный» не предполагает негативную оценку. Метрологическая деятельность специфична. Другие сферы деятельности человека – обыденная жизнь, искусство, экономика, политика и др. – имеют каждая свое предназначение, свои цели. Роль метрологии в жизни общества очень важна, но метрологическое обеспечение не всегда и не везде возможно и уместно.

Метрология не признает паранаучные концепции – астрологию, парапсихологию, уфологию и т. п. Она не признает эти концепции не потому, что не хочет, а потому, что не может, поскольку один из постулатов метрологии гласит: *«Измерение возможно, если истинное значение измеряемой величины существует»*. А никаких достоверных, точно установленных фактов в таких концепциях нет. Возможны случайные совпадения.

Каковы же критерии метрологического обеспечения, его характерные признаки?

Одним из важных отличительных качеств метрологического обеспечения является его систематизированность. Метрологическая систематизация

специфична. Для нее свойственно стремление к полноте, непротиворечивости, четким основаниям систематизации. Метрологическая информация как система имеет определенную структуру, элементами которой являются факты, законы, теории, картины мира. Отдельные области метрологии взаимосвязаны и взаимозависимы.

Стремление к обоснованности, доказательности метрологической информации является важнейшим критерием. Обоснование результатов метрологической деятельности, приведение их в единую систему всегда было характерным для метрологии. Со стремлением к единству измерений связывают само возникновение метрологии. Для обоснования измерительной информации применяют многократные проверки, обращение к статистическим данным и т. п. При обосновании создаваемых **методик выполнения измерений** (МВИ) проверяют их непротиворечивость, соответствие эмпирическим данным, возможность описывать и предсказывать явления.

В метрологии ориентация на новации сочетается со стремлением элиминировать из результатов измерения все субъективное. В этом одно из отличий метрологии от искусства. Если бы художник не создал своего творения, то его бы просто не было. Но если метролог, пусть даже выдающийся, не разработал МВИ или средство измерения, то они все равно были бы созданы, потому что представляют собой необходимый этап развития метрологии, являются интересубъективными.

Хотя метрологическая деятельность специфична, в ней применяются приемы рассуждений, используемые людьми в других сферах деятельности, в обыденной жизни. Для любого вида человеческой деятельности характерны: индукция и дедукция, анализ и синтез, абстрагирование и обобщение, идеализация, аналогия, описание, объяснение, предсказание, гипотеза, подтверждение, опровержение и пр.

Основными методами получения метрологической информации являются наблюдение и эксперимент. **Наблюдение** – это такой метод измерения, при котором не вносят при исследовании самим процессом наблюдения каких-либо изменений в изучаемую реальность.

В отличие от наблюдения в рамках эксперимента изучаемое явление ставится в особые условия. Как писал Ф. Бэкон, «природа вещей лучше обнаруживает себя в состоянии искусственной стесненности, чем в естественной свободе».

Задачи метрологии никак не сводятся к сбору измерительной информации в виде экспериментального материала. **Математический эксперимент** –

это современная разновидность МВИ, при котором возможные последствия варьирования условий в математической модели просчитываются на компьютерах [3]. В ходе эксперимента метролог как бы проигрывает возможные варианты поведения используемых им при измерении средств и методов.

Говоря о средствах и путях развития метрологии, необходимо отметить, что важнейшим из них является язык метрологии.

Галилей утверждал, что книга Природы написана языком математики. Развитие науки об измерениях полностью подтверждает эти слова Галилея. В метрологии процесс математизации идет очень активно. Математика органично входит в ткань теоретических построений метрологии.

Ход научного познания существенно зависит от развития используемых метрологией средств извлечения первичной измерительной информации. Использование подзорной трубы Галилеем, а потом – создание телескопов, радиотелескопов во многом определило развитие астрономии. Применение микроскопов, особенно электронных, сыграло огромную роль в развитии биологии. Без таких информационно-измерительных средств, как синхрофазотроны, невозможно развитие современной физики элементарных частиц. Применение компьютера революционизирует развитие метрологии.

Методы и средства, используемые в разных областях метрологии, не одинаковы. Различия методов и средств определяются и спецификой предметных областей, и уровнем развития метрологии. Однако в целом происходит постоянное взаимопроникновение используемых метрологией методов и средств. Аппарат математики применяется все шире. По выражению Ю. Винера, «невероятная эффективность математики» делает ее важным средством познания во всех сферах деятельности человека, в том числе и в метрологии. Однако вряд ли следует в будущем ожидать полной универсализации методов и средств, используемых в метрологии.

Метрология порой представляется как сфера почти непрерывного творчества, постоянного стремления к новому. Однако в современной методологии метрологии четко осознано, что метрологическая деятельность должна опираться на ранее сформулированные нормы и правила [1, 5, 7–9, 11].

Традиция является не тормозом, а, наоборот, необходимым условием быстрого накопления научной информации. «Нормальная» метрология развивается не вопреки традициям, а именно в силу своей традиционности. Традиция организует любое сообщество, порождает «индустрию» производства информации.

Содержание и построение учебника определено необходимостью формирования и развития компетенций у обучаемых в сфере метрологии, измерительной техники, стандартизации и сертификации. Без соответствующих знаний и навыков невозможно с позиции системного подхода к проблеме обеспечения качества на различных этапах разработки, изготовления и эксплуатации электронных средств решение проблемы повышения технического уровня продукции.

В рамках данной дисциплины стоят задачи: сформировать понимание целей и содержания деятельности специалиста по метрологическому обеспечению производства электронной техники и технологий; дать знания в области метрологии как науки об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности в объеме, достаточном для квалифицированного решения основных задач измерительного эксперимента, включая получение достоверной и точной измерительной информации для последующего использования в системах измерительного контроля, технического диагностирования и управления.

В нашей стране ежедневно выполняется свыше 30 млрд различных измерений. Затраты на обеспечение и проведение измерений составляют около 25 %, для машиностроения данный показатель возрастает до 40 %, а для радио-, микро- и нанoeлектроники превышает 70 % всех затрат на производство продукции. Реализация законов РФ «О защите прав потребителей», «О стандартизации», «О сертификации продукции и услуг», «Об энергосбережении» и т. д. невозможна без использования достоверной и сопоставимой метрологической информации.

Эффективное межгосударственное сотрудничество, совместные разработки научно-технических программ, дальнейшее развитие торговых отношений требуют взаимного доверия к измерительной информации, являющейся, по существу, основным объектом обмена при совместном решении научно-технических проблем, основой взаимных расчетов при торговых операциях, заключении контрактов на поставку материалов, изделий и оборудования. Создание единого подхода к измерительной информации гарантирует взаимопонимание, возможность унификации и стандартизации методов и средств измерений и испытаний продукции в международной системе товарообмена. Для реализации этих принципов в тот период были разработаны и стали внедряться основные положения Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ). Для внедрения положений ГСИ оказалось не-

достаточно иметь средства измерений, метрологические характеристики которых удовлетворяют установленным требованиям. Это объясняется тем, что погрешность многих измерений зависит не только от метрологических характеристик средств измерений, но и от других причин, которые определяются методом и процедурой измерений (погрешность метода, погрешности, возникающие при отборе и приготовлении пробы, личностные погрешности, условия измерений и другие причины). Накопленный опыт измерительной информации показывает, что основная доля потери точности при измерениях происходит в основном не за счет погрешностей применяемых средств измерений, а в первую очередь за счет несовершенства методик выполнения измерений. Методики выполнения измерений как метрологический объект появились в 1972 г. Объективными причинами создания МВИ в метрологической деятельности явились сформулированные в то время принципы обеспечения единства измерений: результаты измерений должны быть выражены в узаконенных единицах и должна быть известна погрешность измерений. Средства измерений сами по себе не могут в полной мере обеспечить требуемую точность измерений и достоверность их результатов, если не будут учтены погрешности измерений за счет влияющих на измерения факторов, служащих источниками погрешностей.

В результате работ в этой области появились стандарты и методические документы на МВИ, началась их аттестация. Эти работы нашли отражение в отраслевых программах метрологического обеспечения. МВИ объединяют основные компоненты системы обеспечения единства измерений (измеряемая величина, единицы величин, метод измерений, метрологические характеристики средств измерений, форма и вид представления результатов измерений и др.). Поэтому разработка и внедрение современных МВИ существенно влияют на развитие эталонной базы и систем передачи размеров единиц от эталонов всем средствам измерений.

Измерения являются одним из важнейших путей познания природы человеком. Они дают количественную характеристику окружающего мира, раскрывая действующие в природе закономерности. Ни одна отрасль техники не могла бы существовать без развернутой системы измерений, определяющих как все технологические процессы, контроль и управление ими, так и свойства и качество выпускаемой продукции.

Особенно велико значение измерений в современном обществе. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первосте-

пенное значение для учета материальных ресурсов и планирования, внутренней и внешней торговли, обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости узлов и деталей, совершенствования технологий, а также безопасности труда и других видов человеческой деятельности.

Особенно возросла роль измерений в век широкого внедрения новой техники, развития электроники, автоматизации, атомной энергетики, космических полетов. Высокая точность управления полетами космических аппаратов достигнута благодаря современным совершенным средствам измерений, устанавливаемым как на самих космических аппаратах, так и в измерительно-управляющих центрах.

Большое разнообразие явлений, с которыми приходится сталкиваться, определяет широкий круг величин, подлежащих измерению. Во всех случаях проведения измерений, независимо от измеряемой величины, метода и средств измерений, есть общее, что составляет основу измерений, – это сравнение опытным путем данной величины с другой, подобной ей, принятой за единицу. При всяком измерении мы с помощью эксперимента оцениваем физическую величину в виде некоторого числа принятых для нее единиц, т. е. находим ее значение.

В настоящее время установлено следующее определение измерения: ***измерение*** есть нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Наука, изучающая измерения, называется метрологией. Слово «***метрология***» образовано из двух греческих: метрон – мера и логос – учение. Дословный перевод слова «метрология» – учение о мерах. Долгое время метрология оставалась в основном описательной наукой о различных мерах и соотношениях между ними. С конца XIX века, благодаря развитию физических наук, метрология получила существенное развитие. Большую роль в становлении современной метрологии как одной из наук физического цикла сыграл Д. И. Менделеев, руководивший отечественной метрологией в период 1892–1907 гг.

Метрология в ее современном понимании – наука об измерениях, методах измерений, средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Единство измерений – такое состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью. Единство измерений необходимо для того,

чтобы можно было сопоставить результаты измерений, выполненных в разных местах, в разное время, с использованием разных методов и средств измерений. Точность измерений характеризуется близостью их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Таким образом, важнейшими задачами метрологии являются усовершенствование эталонов, разработка новых методов точных измерений, обеспечение единства и необходимой точности измерений.

Основные положения, рассмотренные во введении:

Определение понятия качества продукции, методы оценивания качества.

Системный подход к проблеме обеспечения качества на различных этапах разработки, изготовления и эксплуатации РЭС, ЭВС.

Роль стандартизации, метрологии и измерительной техники в решении проблемы повышения эффективности производства и управления качеством.

Измерительная информация как основной источник достоверной количественной информации, необходимой для управления производственными процессами и принятия решения.

Понятие измерительного преобразования.

Общность процедур получения измерительной информации и особенности ее использования для целей измерения, контроля, испытаний, диагностирования, управления.

Понятие метрологического обеспечения производства и его место в деятельности радиоинженера-конструктора-технолога, бакалавра.

1. МЕТРОЛОГИЯ

1.1. Основные понятия

Понятие «измерение» является важнейшим в метрологии. Это организованное действие человека, выполняемое для количественного познания свойств физического объекта с помощью определения опытным путем значения какой-либо физической величины [1].

Существует несколько видов измерений. При их классификации обычно исходят из характера зависимости измеряемой величины от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений, и способов выражения этих результатов.

Измерения различают по способу получения информации, характеру изменений измеряемой величины в процессе измерений, количеству измерительной информации, отношению к основным единицам.

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

Прямые измерения – это непосредственное сравнение физической величины с ее мерой. Например, при определении длины предмета линейкой происходит сравнение искомой величины (количественного выражения значения длины) с мерой, т. е. линейкой.

Косвенные измерения отличаются от прямых тем, что искомое значение величины устанавливают по результатам прямых измерений таких величин, которые связаны с искомой определенной зависимостью. Так, если измерить силу тока амперметром, а напряжение – вольтметром, то по известной функциональной взаимосвязи всех трех величин можно рассчитать мощность электрической цепи.

Совокупные измерения сопряжены с решением системы уравнений, составляемых по результатам одновременных измерений нескольких однородных величин. Решение системы уравнений дает возможность вычислить искомую величину.

Совместные измерения – это измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

Совокупные и совместные измерения часто применяют в измерениях различных параметров и характеристик в области электротехники.

По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерений бывают статистические, динамические и статические измерения.

Статистические измерения связаны с определением характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т. д.

Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна.

Динамические измерения связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения. Статические и динамические измерения в идеальном виде на практике редки.

По условиям, определяющим точность результата, измерения делят на три класса:

1. Измерения максимальной возможной точности, достижимой при существующем уровне техники. К ним относят в первую очередь **эталонные измерения**, связанные с максимальной возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин, а также измерения физических констант, прежде всего универсальных (абсолютное значение ускорения свободного падения, гиромагнитное отношение протона и др.). К этому же классу относят и некоторые специальные измерения, требующие высокой точности.

2. **Контрольно-поверочные измерения**, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения.

Это измерения, выполняемые территориальными органами Госстандарта РФ и заводскими измерительными лабораториями, которые гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения.

3. **Технические измерения**, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, на щитах распределительных устройств электрических станций и др.

По способу выражения результатов различают абсолютные и относительные измерения.

Абсолютными называются измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант. Примером абсолютных измерений может служить определение длины в метрах, силы электрического тока в амперах, ускорения свободного падения в метрах на секунду в квадрате.

Относительными называют измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по от-

ношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. В качестве примера относительных измерений можно привести измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в 1 м^3 воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает 1 м^3 воздуха при данной температуре.

Основными характеристиками измерений являются: принцип измерений, метод измерений, точность, правильность, достоверность и погрешность.

Принцип измерений – физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Средствами измерений являются используемые технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства.

Точность измерений – это характеристика измерений, отражающая близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность можно выразить величиной, обратной модулю относительной погрешности:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta}{Q} \right|^{-1}. \quad (1.1)$$

Например, если погрешность измерений равна $10^{-2} \% = 10^{-4}$, то точность равна 10^4 .

Правильность измерений определяют как качество измерения, отражающее близость к нулю систематических погрешностей результатов (т. е. таких погрешностей, которые остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины). Правильность измерений зависит, в частности, от того, насколько действительный размер единицы, в которой выполнено измерение, отличается от ее истинного размера (по определению), т. е. от того, в какой степени были правильны (верны) средства измерений, использованные для данного вида измерений.

Важнейшей характеристикой качества измерений является их *достоверность*. Она характеризует доверие к результатам измерений и делит их на две категории: достоверные и недостоверные, в зависимости от того, извест-

ны или неизвестны вероятностные характеристики их отклонений от истинных значений соответствующих величин. Результаты измерений, достоверность которых неизвестна, не представляют ценности и в ряде случаев могут служить источником дезинформации.

Наличие погрешности ограничивает достоверность измерений, т. е. вносит ограничение в число достоверных значащих цифр числового значения измеряемой величины и определяет точность измерений.

По количеству измерительной информации различают однократные и многократные измерения.

Однократные измерения – это одно измерение одной величины, т. е. число измерений равно числу измеряемых величин. Практическое применение такого вида измерений всегда сопряжено с большими погрешностями, поэтому следует проводить не менее трех однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение.

Многократные измерения характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин. Обычно минимальное число измерений в данном случае больше. Преимущество многократных измерений – в значительном снижении влияния случайных факторов на погрешность измерения.

Вопросы для самопроверки

1. Измеряемая величина, измерительная информация, измерение – исходные понятия метрологии.
2. Уравнение измерения.
3. Понятие истинного и действительного, измеренного значения измеряемой физической величины.
4. Погрешность измерения.
5. Формы выражения погрешности измерения.
6. Проблема обеспечения единства измерений.

1.1.1. Системы единиц физических величин

Понятие о физической величине – одно из наиболее общих в физике и метрологии. Под физической величиной понимается свойство, общее в качественном отношении для многих физических объектов (физических систем,

их состояний и происходящих в них процессов), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта. Так, все тела обладают массой и температурой, но для каждого из них эти параметры различны. То же самое можно сказать и о других величинах – электрическом токе, вязкости жидкостей или потоке излучения.

Для того чтобы можно было установить различия в количественном содержании свойств в каждом объекте, отображаемых физической величиной, ввели понятие размера физической величины.

Исторически первой системой единиц физических величин была принятая в 1791 г. Национальным собранием Франции метрическая система мер. Она не являлась еще системой единиц в современном понимании, а включала в себя единицы длин, площадей, объемов, вместимостей и веса, в основу которых были положены метр и килограмм.

В 1832 г. немецкий математик К. Гаусс предложил методику построения системы единиц как совокупности основных и производных. Он создал систему единиц, в которой за основу были приняты три произвольные, независимые друг от друга единицы – длина, масса и время. Все остальные единицы можно было определить с помощью этих трех. Такую систему единиц, связанных определенным образом с тремя основными, Гаусс назвал абсолютной системой. За основные единицы он принял миллиметр, миллиграмм и секунду.

В дальнейшем с развитием науки и техники появился ряд систем единиц физических величин, построенных по принципу, предложенному Гауссом, базирующихся на метрической системе мер, но отличающихся друг от друга основными единицами [2].

Международная система единиц физических величин. Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ) в 1954 г. определила шесть основных единиц физических величин для использования в международных отношениях: метр, килограмм, секунда, ампер, градус Кельвина и свеча.

В 1960 г. XI Генеральная конференция по мерам и весам утвердила *Международную систему единиц*, обозначаемую SI (от начальных букв французского названия *Systeme International Unites*), на русском языке **СИ**. В последующие годы Генеральная конференция приняла ряд дополнений и изменений, в результате чего в системе стало семь основных единиц, а также дополнительные и производные единицы физических величин, и разработала следующие определения основных единиц:

единица длины – метр – длина пути, которую проходит свет в вакууме за $1/299792458$ долю секунды;

единица массы – килограмм – масса, равная массе международного прототипа килограмма;

единица времени – секунда – продолжительность 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей;

единица силы электрического тока – ампер – сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным проводникам бесконечной длины и ничтожно малого кругового сечения, расположенным на расстоянии 1 м один от другого в вакууме, создал бы между этими проводниками силу, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н на каждый метр длины;

единица термодинамической температуры – кельвин – $1/273,161$ часть термодинамической температуры тройной точки воды. Допускается также применение шкалы Цельсия;

единица количества вещества – моль – количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько атомов содержится в нуклиде углерода-12 массой 0,012 кг;

единица силы света – кандела – сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $0,54 \cdot 10^{14}$ Гц, энергетическая сила которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср².

Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов

Под стандартными образцами принято понимать образцы веществ или материалов, химический состав или физические свойства которых типичны для данной группы веществ (материалов), определены с необходимой точностью, отличаются высоким постоянством и удостоверены сертификатом.

Стандартные образцы используют для градуировки, поверки и калибровки химического состава и различных свойств материалов (механических, теплофизических, оптических и др.). Стандартные образцы как мера с установленной погрешностью (классом точности) применяют непосредственно для контроля качества сырья и промышленной продукции путем сличения. По существу стандартные образцы служат для поддержания единства измерений, т. е. являются средствами измерений.

Основу классификации стандартных образцов составляют:

- разновидность характеристики, по которой проводится аттестация стандартного образца;
- метод анализа (сличения) объектов контроля со стандартным образцом;
- агрегатное состояние самого стандартного образца как материала (вещества);
- метрологическое назначение.

Согласно этой классификации стандартные образцы подразделяют по первому признаку на образцы свойств материалов (веществ) и образцы состава материалов (веществ); по второму признаку различают стандартные образцы для химического, рентгеновского, спектроскопического и других видов анализа; по третьему признаку – стандартные образцы в твердом, жидком и газообразном состоянии; по метрологическому назначению (четвертый признак) – стандартные образцы для градуировки, поверки, контроля качества вещества и т. д.

Особо важное значение имеет категория стандартных образцов для установления чистоты веществ. Понятие особо чистых веществ связано с производством многих материалов современной техники, медицины и т. д. Стандартные образцы подвергают специальным испытаниям, по результатам которых на них получают свидетельства (сертификат) и вносят в государственный реестр стандартных образцов, а он, в свою очередь, является составной частью (разделом) Государственного реестра средств измерений. В сертификате стандартного образца обязательно указывают срок годности, поскольку практически все вещества и материалы со временем изменяются вследствие воздействия факторов окружающей среды на их свойства. А от этого зависит достоверность результатов измерений.

К настоящему времени опубликованы данные более чем о 3,5 млн веществ и материалов, что характеризует значимость такого средства измерений, как стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов.

В России действует Государственная служба стандартных образцов (ГССО) в составе НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». Главная цель этой службы – обеспечение любой организации, нуждающейся в проведении контроля качества своей продукции с помощью стандартных образцов, образцами и изготовление новых образцов по заявкам заинтересованных юридических лиц.

1.1.2. Измерительные шкалы

Измерение – это алгоритмическая операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта, процесса, явления ставит в соответствие определенное обозначение: число, номер или символ. Такое соответствие обеспечивает то, что результаты измерений содержат информацию о наблюдавшемся объекте, количество же информации зависит от степени полноты этого соответствия и разнообразия вариантов. Нужная нам информация получается из результатов измерения с помощью их преобразований или, как еще говорят, с помощью обработки экспериментальных данных.

Совершенно ясно, что чем теснее соответствие между состояниями и их обозначениями, тем больше информации можно извлечь в результате обработки данных. Менее очевидно, что степень этого соответствия зависит не только от организации измерений (т. е. от экспериментатора), но и от природы исследуемого явления, и что сама степень соответствия, в свою очередь, определяет допустимые (и недопустимые) способы обработки данных.

В данном параграфе мы будем рассматривать только такие объекты, про любые два состояния которых можно сказать, различимы они или нет, и только такие алгоритмы измерения, которые различным состояниям ставят в соответствие разные обозначения, а неразличимым состояниям – одинаковые обозначения¹.

Это означает, что как состояния объекта [4], так и их обозначения удовлетворяют следующим аксиомам эквивалентности:

1°. $A = A$ (рефлексивность).

2°. Если $A = B$, то $B = A$ (симметричность).

3°. Если $A = B$ и $B = C$, то $A = C$ (транзитивность).

Здесь символ $=$ обозначает отношение эквивалентности; в том случае, когда A и B – числа, он означает их равенство.

Шкалы наименований

Предположим, что число различных состояний (математический термин – число классов эквивалентности) конечно. Каждому классу эквивалентности поставим в соответствие обозначение, отличное от обозначений других классов. Теперь измерение будет состоять в том, чтобы, проведя эксперимент над объектом, определить принадлежность результата к тому или иному

¹ В дальнейшем мы убедимся, что существуют не только такие типы измерений.

классу эквивалентности и записать это с помощью символа, обозначающего данный класс. Такое измерение называется измерением в шкале *наименований* (иногда эту шкалу называют также *номинальной* или *классификационной*); указанное множество символов и образует шкалу.

Особенности шкалы наименований рассмотрим на примерах. Естественнее всего использовать шкалу наименований в тех случаях, когда классифицируют дискретные по своей природе явления (например, различные объекты). Для обозначения классов могут быть использованы как слова определенного языка (например, географические названия, собственные имена людей и т. д.), произвольные символы (гербы и флаги государств, эмблемы родов войск, всевозможные значки и т. д.), номера (регистрационные номера автомобилей, официальных документов, номера на майках спортсменов), так и их *различные комбинации* (например, почтовые адреса, экслибрисы личных библиотек, печати и пр.). Все эти обозначения эквивалентны простой нумерации (в некоторых странах человек при рождении получает номер, под которым он фигурирует в государственных информационных схемах всю жизнь), но на практике часто предпочитают другие обозначения.

Поскольку присваиваемое классу объектов обозначение в принципе произвольно (хотя после присвоения и однозначно), эту свободу в выборе можно использовать для удобства. Так, при большом и/или нефиксированном числе классов их конкретизация упрощается и облегчается, если обозначения вводятся иерархически. Примером могут служить почтовые адреса: страна – территориальная административная единица (республика, штат, кантон, графство, область) – населенный пункт – улица – дом – квартира – адресат. Другой пример – автомобильные номера: в их символике есть обозначение как территории, так и принадлежности машины (государственная или личная).

Необходимость классификации возникает и в тех случаях, когда классифицируемые состояния образуют непрерывное множество. Задача сводится к предыдущей, если все множество разбить на конечное число подмножеств, искусственно образуя тем самым классы эквивалентности. Теперь принадлежность состояния к какому-либо классу снова можно регистрировать в шкале наименований. Однако условность введенных классов (не их шкальных обозначений, а самих классов) рано или поздно проявится на практике. Например, возникают трудности точного перевода с одного языка на другой при описании цветовых оттенков: в английском языке голубой, лазуревый и синий цвета не различаются; не исключено, что англичане иначе видят мир (например, в одном английском толковом словаре слово «синий» объясняется

как «цвет чистого неба, древесного дыма, снятого молока, свинца», а в другом – как «цвет неба или моря, а также вещей намного бледнее или темнее, как дым, удаленные холмы, лунный свет, синяк»).

Аналогичная ситуация имеет место в профессиональных языках. Вспомним примеры с наименованиями коров у африканского племени масаев, различных состояний снега у эвенков.

Названия болезней также образуют шкалу наименований. Психиатр, ставя больному диагноз «шизофрения», «паранойя», «маниакальная депрессия» или «психоневроз», использует номинальную шкалу; и все же иногда врачи не зря вспоминают, что нужно лечить больного, а не болезнь: название болезни лишь обозначает класс, внутри которого на самом деле имеются различия, так как эквивалентность внутри класса носит условный характер.

Перейдем теперь к вопросу о допустимых операциях над данными, выраженными в номинальной шкале. Подчеркнем еще раз, что обозначения классов – это только символы, даже если для этого использованы номера. Номера лишь внешне выглядят как числа, но на самом деле числами не являются. Если у одного спортсмена на спине номер 4, а другого – 8, то никаких других выводов, кроме того, что это разные участники соревнований, делать нельзя: так, нельзя сказать, что второй в два раза лучше или что у одного из них форма новее. С номерами нельзя обращаться как с числами, за исключением определения их равенства или неравенства: только эти отношения определены между элементами номинальной шкалы (см. приведенные выше аксиомы 1°–3°).

Поэтому при обработке экспериментальных данных, зафиксированных в номинальной шкале, непосредственно с самими данными можно выполнять только операцию проверки их совпадения или несовпадения. Изобразим эту операцию с помощью символа Кронекера:

$$\delta_y = \{1: x_i = x_j; 0: x_i \neq x_j\},$$

где x_i и x_j – записи разных измерений.

С результатами этой операции можно выполнять более сложные преобразования: считать количества совпадений (например, число наблюдений k -го

класса равно $n_k = \sum_{j=1}^n \delta_{kj}$, где n – общее число наблюдений), вычислять относи-

тельные частоты классов (например, частота k -го класса есть $p_k = n_k/n$), срав-

нивать эти частоты между собой (находя, например, моду – номер наиболее часто встречающегося класса $k_{\max} = \arg \max p_k$), выполнять различные статистические процедуры, строго следя, однако, чтобы в этих процедурах с исходными данными не выполнялось ничего, кроме операции проверки их на совпадение (например, можно использовать χ^2 – тест, другие тесты на относительных частотах, коэффициент согласия и т. д.).

В тех случаях, когда наблюдаемый (измеряемый) признак состояния имеет природу, не только позволяющую отождествить состояния с одним из классов эквивалентности, но и дающую возможность в каком-то отношении сравнивать разные классы, для измерений можно выбрать более «сильную» шкалу, чем номинальная. Если же не воспользоваться этим, то мы откажемся от части полезной информации. Однако усиление измерительной шкалы зависит от того, какие именно отношения между классами существуют в действительности. Это и явилось причиной появления измерительных шкал разной силы.

Порядковые шкалы

Следующей по силе за номинальной шкалой является *порядковая шкала* (используется также название *ранговая шкала*). Этот класс шкал появляется, если кроме аксиом тождества 1°–3° классы удовлетворяют следующим аксиомам упорядоченности:

4°. Если $A \neq B$, то либо $A > B$, либо $B > A$.

5°. Если $A > B$ и $B > C$, то $A > C$.

Обозначив такие классы символами и установив между этими символами те же отношения порядка, мы получим *шкалу совершенного порядка*. Примерами применения такой шкалы являются нумерация очередности, воинские звания, призовые места в конкурсе.

Иногда оказывается, что не каждую пару классов можно упорядочить по предпочтению: некоторые пары считаются равными. В таком случае аксиомы 4° и 5° видоизменяются:

4'. Либо $A < B$, либо $A > B$.

5'. Если $A > B$ и $B > C$, то $A > C$.

Шкала, соответствующая аксиомам 4' и 5', называется *шкалой квазипорядка*. Примером шкалы квазипорядка служит упорядочение по степени родства с конкретным лицом (мать – отец $>$ сын = дочь, дядя – тетя $<$ брат = сестра и т. п.).

Иная ситуация возникает, когда имеются пары классов, несравнимые между собой, т. е. ни $A \leq B$, ни $B \leq A$ (это отличается от условия квазипорядка, когда одновременно $A > B$ и $B > A$, т. е. $A = B$). В таком случае говорят

о шкале частичного порядка. Шкалы частичного порядка часто возникают в социологических исследованиях субъективных предпочтений. Например, при изучении покупательского спроса субъект часто не в состоянии оценить, какой именно из двух разнородных товаров ему больше нравится (например, клетчатые носки или фруктовые консервы, велосипед или магнитофон и т. д.); затрудняется человек и упорядочить по предпочтению любимые занятия (чтение литературы, плавание, вкусная еда, слушание музыки и т. д.).

Как видим, порядковые шкалы могут быть различными. В зависимости от того, каким аксиомам упорядоченности отвечают рассматриваемые объекты, мы должны пользоваться либо шкалой совершенного, либо шкалой частичного порядка. Однако разнообразие порядковых шкал этим не исчерпывается. Иногда число градаций в шкале задается заранее, и эксперимент лишь определяет, к какому из упорядоченных классов относится наблюдаемый объект (например, оценка на экзамене, сила землетрясения, воинское звание и т. п.). В других случаях эталонные классы отсутствуют, а упорядочение проводится непосредственным попарным сравнением самих рассматриваемых объектов (например, выстраивание солдат в шеренгу по росту, определение мест в результате спортивных соревнований, музыкальных конкурсов и т. д.).

Очень важно обратить внимание на то, что отношение порядка ничего не говорит о «дистанциях» между сравниваемыми классами или объектами. Это придает порядковым шкалам характерную особенность: наблюдения, зафиксированные в таких шкалах, не являются числами. Даже если экспериментальные данные представлены цифрами (как школьные баллы, номера мест, занятых в соревновании, и т. п.), эти данные нельзя рассматривать как числа. Над ними нельзя производить арифметические операции и вообще любые действия, результат которых изменится при преобразованиях шкалы, не нарушающих порядка. Например, нельзя вычислять среднее арифметическое порядковых измерений $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$, т. е. величину

$$\frac{1}{n} \sum_i^n x_i,$$

так как переход к монотонно преобразованной шкале $x' = f(x)$ (сохраняющей данную упорядоченность) после усреднения даст величину

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x'_i \neq \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Между тем не все это знают. Ярким примером такого широко распространенного заблуждения являлось использование в школах и вузах в недавнем прошлом (а кое-где и сейчас) средних баллов. Правда, сразу было замечено, что средний балл, худо-бедно «работавший» в руках одного учителя, в рамках одного класса, переставал играть роль объективного показателя при сравнении выпускников разных школ. Во всяком случае непродуманно введенный ранее учет средних школьных баллов при проведении конкурса для поступления в высшие учебные заведения был недавно отменен.

Допустимые операции над порядковыми наблюдениями вытекают из отношений, определяющих эти шкалы, т. е. из отношений эквивалентности и предпочтения. Допустимые операции представляют собой только операции проверки выполнимости этих отношений. Операция проверки принадлежности наблюдения к заданному классу (или неразличимости двух наблюдений) была уже введена выше, при рассмотрении номинальной шкалы, как символ Кронекера δ_{ij} , где один индекс – номер наблюдения, а другой – номер класса или другого наблюдения (в зависимости от типа порядковой шкалы). Операция проверки отношения предпочтения тоже может быть формализована. Введем индикаторную функцию C_{ij} предпочтения для упорядоченной² пары индексов (i, j) , а именно: $C_{ij} = \{1, \text{если объект с индексом } i \text{ предпочтительнее объекта с индексом } j \text{ или эквивалентен ему}; 0, \text{если верно обратное предпочтение}\}$.

В результате по значению бинарной функции C_{ij} мы можем однозначно судить о порядке предъявленных объектов. Как и ранее, в зависимости от типа шкалы, один объект – данное наблюдение, а другой – либо некоторый класс, либо другое наблюдение.

Итак, непосредственно над порядковыми данными можно производить только операции по определению величин δ_{ij} и C_{ij} . Результаты этих операций являются двоичными числами; над ними уже можно производить арифметические и логические операции. Например, если i и j – номера наблюдений в совокупности данных $(x_1, \dots, x_i, \dots, x_n)$, то мы можем установить номер i -го наблюдения в упорядоченном ряду:

$$R_i = \sum_{j=1}^n C_{ij}.$$

² Напомним, что упорядоченность пары объектов означает, что их нельзя менять местами; точнее, что пара с обратным порядком – это другая пара.

Этот номер называется *рангом* i -го объекта; отсюда происходит специальное название для данного типа порядковых шкал – *ранговые*. Если имеет место квазипорядок, то часть наблюдений может совпадать (в статистике такая группа наблюдений называется *связкой*), и все члены связки получают одинаковый (старший для них) ранг. Когда это неудобно, прибегают либо к присвоению ранга, среднего для данной связки (*мидранга*), либо присваивают ранги от младшего до старшего случайным образом.

С числами δ_{ij} и C_{ij} можно выполнять и другие необходимые операции. Кроме нахождения частот и мод (как и для номинальной шкалы) появляется возможность определить выборочную медиану (т. е. наблюдение с рангом R_i , ближайшим к числу $n/2$); можно разбить всю выборку на части в любой пропорции, находя выборочные квантили любого уровня p , $0 < p < 1$ (т. е. наблюдения с рангом R_i , ближайшим к величине np); можно определить коэффициенты ранговой корреляции между двумя сериями порядковых наблюдений (r_s , Спирмэна, τ , Кендалла); строить другие статистические процедуры.

Подчеркнем еще раз, что даже в тех случаях, когда состояния, которые допускают только порядковые сравнения, в эксперименте измеряются через величины, связанные с ними косвенно, но фиксируемые в числовых шкалах. Эти измерения все равно остаются измерениями в порядковой шкале. Пфанцгль [6] приводит наглядные примеры, иллюстрирующие сказанное.

Первый пример взят из медицины. Известно, что за показатель интенсивности патологического процесса принимается скорость выпадения осадка при добавлении в пробирку с кровью цитрата натрия; скорость осаждения измеряется в миллиметрах в единицу времени. Идея такого измерения основана на том, что увеличение интенсивности патологического процесса приводит к повышению содержания глобулина, что увеличивает скорость выпадения осадка. Поэтому высота слоя осадка за данный интервал времени монотонно связана с интенсивностью исследуемого патологического процесса.

В качестве второго примера рассматривается испытание умственных способностей, при котором измеряется время, затрачиваемое испытуемым на решение тестовой задачи. В таких экспериментах время, хотя и измеряется в числовой шкале, но как мера интеллекта принадлежит порядковой шкале.

Суть состоит в том, что порядковые в строгом смысле шкалы определяются только для заданного набора сравниваемых объектов, у этих шкал нет общепринятого, а тем более абсолютного стандарта. Поэтому при определенных условиях правомерно выражение «первый в мире, второй в Европе» – просто чемпион мира занял второе место на всеевропейских соревнованиях.

Измерение – операция, ставящая наблюдаемому явлению в соответствие один из элементов подходящей измерительной шкалы. Измерительная шкала может иметь разную силу в зависимости от того, являются ли ее элементы символами, номерами или числами. Измерительную шкалу следует выбирать максимально сильной, однако сила шкалы должна соответствовать природе наблюдаемого явления и не быть завышенной.

Модифицированные порядковые шкалы

Опыт работы с сильными числовыми шкалами и желание уменьшить относительность порядковых шкал, придать им хотя бы внешнюю независимость от измеряемых величин побуждают исследователей к различным модификациям, придающим порядковым шкалам некоторое (чаще всего кажущееся) усиление. Другая важная причина попыток усиления шкалы состоит в том, что многие измеряемые в порядковых (принципиально дискретных) шкалах величины имеют действительный или мыслимый непрерывный характер: сила ветра или землетрясения, твердость вещества, глубина и прочность знаний, овладение навыками и т. п. Сама возможность введения между любыми двумя шкальными значениями третьего способствует тому, чтобы попытаться усилить шкалу.

Все это вместе взятое привело к появлению и использованию на практике ряда порядковых шкал, но не в таком строгом смысле, как те, о которых мы говорили выше. При этом иногда с полученными данными начинают обращаться как с числами, даже если произведенная модификация не выводит шкалу из класса порядковых. Это сопряжено с ошибками и неправильными решениями. Рассмотрим некоторые из известных модификаций.

Шкала твердости по Моосу. Из двух минералов тверже тот, который оставляет на другом царапины или вмятины при достаточно сильном соприкосновении. Отношение «*A* тверже *B*» – типичное отношение порядка. В 1811 г. немецкий минералог Ф. Моос предложил установить стандартную шкалу твердости, постулируя только десять ее градаций. За эталоны приняты следующие минералы с возрастающей твердостью: 1 – тальк, 2 – гипс, 3 – кальций, 4 – флюорит, 5 – апатит, 6 – ортоклаз, 7 – кварц, 8 – топаз, 9 – корунд, 10 – алмаз. Шкала Мооса устанавливает искусственно квазипорядок, так как промежуточных единиц градаций твердости эта шкала не имеет. Градации твердости все равно не носят числового характера: нельзя говорить, ни что алмаз в два раза тверже апатита, ни что разница в твердостях флюорита

и гипса такая же, как у корунда и кварца; измерения твердости методом царапания не дают оснований для оправдания таких утверждений.

Шкала силы ветра по Бофорту. В 1806 г. английский гидрограф и картограф адмирал Ф. Бофорт предложил балльную шкалу силы ветра, определяя ее по характеру волнения моря: 0 – штиль (безветрие), 4 – умеренный ветер, 6 – сильный ветер, 10 – шторм (буря), 12 – ураган. Кроме штиля градации силы ветра имеют условный, качественный характер.

Шкала магнитуд землетрясений по Рихтеру. В 1935 г. американский сейсмолог Ч. Рихтер предложил 12-балльную шкалу для оценки энергии сейсмических волн в зависимости от последствий прохождения их по данной территории. Затем он развил метод оценки силы землетрясения в эпицентре по его магнитуде на поверхности земли и глубине очага.

Балльные шкалы оценки знаний учащихся. Слушая ответы учащихся или сравнивая их письменные работы, опытный преподаватель может обнаружить разницу между ними и установить, чьи ответы лучше; это типичное отношение порядка. Методом сравнения можно определить, кто в классе лучше других знает данный предмет; сложнее, но иногда возможно (это зависит от состава класса) определить лучшего ученика в классе. Сравнение старшеклассника с младшеклассником по степени овладения знаниями проблематично.

Потребность общества в официальном определении степени квалификации проходящих обучение независимо от того, где, когда и как они получают образование, способствовала введению общепринятых шкал для оценивания знаний учащихся в виде баллов (такие шкалы введены повсеместно). Все испытывают, в том числе и на собственном опыте, неточность, приблизительность этой шкалы. Одна из попыток улучшить шкалу баллов состоит в увеличении числа градаций. В наших школах принята 5-балльная, в вузах – 4-балльная (для экзаменов) система оценок, в некоторых европейских странах – 10-балльная, а в англоязычных странах – 100-балльная система. Это не спасает положения, и преподаватели неофициально вводят дополнительные градации – присоединяют к баллам плюсы, минусы, точки. Примечательно, что и при 100-балльной шкале некоторые преподаватели используют дробные баллы. Все это происходит потому, что не существует ни абсолютного стандарта, единого для всех людей, ни даже условного общедоступного стандарта, наподобие эталонов твердости или вы-

соты волн, и знания могут оцениваться только в порядковой шкале. Тем не менее мало кто (не только учащиеся, но и преподаватели) понимает, что балльная шкала принадлежит к классу порядковых. Дело доходит до того, что даже в официальных вопросах, влияющих на судьбы людей, учитывают среднеарифметический балл – величину, не имеющую смысла в порядковой шкале! Некоторый оттенок объективности и количественности балльной шкале пытаются придать директивным определением того, каким требованиям должен удовлетворять учащийся, чтобы иметь право на тот или иной балл, т. е. ввести независимые стандарты. Однако преподаватели неизбежно по-разному понимают и выполняют инструкции, и оценки все равно получаются относительными: известно, что уровень знаний отличников разных школ или вузов заметно различается. Именно поэтому в ответственных случаях устраивают не конкурсы документов об успеваемости, а конкурсы самих претендентов, т. е. возвращаются к порядковому измерению, непосредственному сравнению обладателей знаний.

Шкалы интервалов

Если упорядочивание объектов можно выполнить настолько точно, что известны расстояния между любыми двумя из них, то измерение окажется заметно сильнее, чем в шкале порядка. Естественно выражать все расстояния в единицах, хотя и произвольных, но одинаковых по всей длине шкалы. Это означает, что объективно равные интервалы измеряются одинаковыми по длине отрезками шкалы, где бы они на ней ни располагались. Следствием такой равномерности шкал этого класса является независимость отношения двух интервалов от того, в какой из шкал эти интервалы измерены (т. е. какова единица длины интервала и какое значение принято за начало отсчета).

Сказанное можно выразить следующим образом. Пусть M – множество совершенно упорядоченных элементов, для каждой пары c, d которых задано вещественное число $p(c, d)$, удовлетворяющее следующим условиям:

- 1) если $c < d$, то $p(c, d) > 0$;
- 2) если $c \in M$ и z – вещественное число, то найдутся такие $d, e \in M$, что $p(c, d) = z, p(c, e) = -z$;
- 3) для любых $(c, d, e) \in M$ верно равенство $p(c, d) + p(d, e) = p(c, e)$.

Множество M с таким бинарным отношением назовем *интервальной шкалой*. В шкале интервалов можно ввести систему координат. Выберем для этого любую пару точек (репер) $c, d \in M$; точка c играет роль начала координат.

нат, а интервал (c, d) – роль единичного интервала. Каждой точке $e \in M$ поставим в соответствие координату $x_e = p(c, e)/p(c, d)$. Тогда точка c будет иметь координату 0, а точка d – координату 1.

Если ввести в M другую систему координат, построенную на репере c_1 и d_1 , то координаты x_e и x_{e1} точки e в этих двух системах координат будут связаны линейным соотношением $x_e = ax_{e1} + b$. Действительно,

$$x_e = \frac{p(c, e)}{p(c, d)} f, x_{e1} = \frac{p(c_1, e)}{p(c_1, d_1)}.$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} x_e &= \frac{p(c, e)}{p(c_1, d_1)} \cdot \frac{p(c_1, d_1)}{p(c, d)} = \frac{p(c_1, d_1)}{p(c, d)} \cdot \frac{p(c, c_1) + p(c_1, e)}{p(c_1, d_1)} = \frac{p(c_1, d_1)}{p(c, d)} \left[\frac{p(c_1, e)}{p(c_1, d_1)} + \frac{p(c, c_1)}{p(c_1, d_1)} \right] = \\ &= \frac{p(c_1, d_1)}{p(c, d)} x_{e1} + \frac{p(c, c_1)}{p(c, d)} \cdot \frac{p(c_1, d_1)}{p(c, d)} = ax_{e1} + b, \end{aligned}$$

где a и b – очевидные обозначения. Несмотря на то что координата x_e и разность $x_e - x_f$ меняются при смене репера, для любых $e, f, g, h \in M$ отношение

интервалов $\frac{x_e - x_f}{x_g - x_h}$ не зависит от выбора репера.

Итак, интервальные шкалы могут иметь произвольные начала отсчета и единицы измерения, что можно выразить словами: «шкала интервалов единственна с точностью до линейных преобразований».

Примерами величин, которые по физической природе либо не имеют абсолютного нуля, либо допускают свободу выбора в установлении начала отсчета и поэтому измеряются в интервальных шкалах, являются температура, время, высота местности.

Начало летоисчисления у христиан установлено от рождества Христова, а у мусульман – на 622 г. позднее – от переезда Мухаммеда в Медину. Единицы летоисчисления привязаны к относительным перемещениям Солнца и Луны, но в астрономии существуют шесть разных определений года. Высоту принято отсчитывать от уровня моря, но это привело к тому, что большая часть территории Голландии имеет отрицательную высоту, так как расположена ниже уровня моря.

Несмотря на произвольность начала отсчета, в обыденной жизни координаты интервальной шкалы иногда абсолютизируются (вспомните, как много эмоций и реальных событий мы связываем с новым годом, началом нового века и т. д.).

Название «шкала интервалов» подчеркивает, что в этой шкале только **интервалы имеют смысл настоящих чисел** и только над интервалами следует выполнять арифметические операции: если произвести арифметические операции над самими отсчетами по шкале, забыв об их относительности, то имеется риск получить бессмысленные результаты. Например, если сказать, что температура воды увеличилась в два раза при ее нагреве от 9 до 18° по шкале Цельсия, то для тех, кто привык пользоваться шкалой Фаренгейта, это будет звучать весьма странно: *связь между шкалами Фаренгейта и Цельсия выражается формулой $F = - (9/5)C + 32$* , так как в этой шкале температура воды в том же опыте изменится от 48,2 до 64,4.

Подобно тому как определение значения символа Кронекера является единственной допустимой операцией над наблюдениями в номинальной шкале, а вычисление ранга наблюдения – в порядковой шкале, в интервальной шкале единственной новой допустимой операцией над наблюдениями может стать определение интервала между ними. Над интервалами же можно выполнять любые арифметические операции, а вместе с ними использовать подходящие способы статистической и иной обработки данных. Например, центральные моменты (в том числе дисперсия) имеют объективный физический смысл, а начальные моменты (в том числе среднее значение) являются относительными наряду с началом отсчета. Поэтому понятие относительной погрешности (коэффициента вариации, т. е. отношения стандартного отклонения к математическому ожиданию) не имеет смысла для интервальной шкалы. Это не означает, что вообще нельзя суммировать показания в шкале интервалов, например вычислять выборочное среднее:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i.$$

Однако с такой величиной нужно обращаться так же, как и с другими исходными наблюдениями, – она остается интервальной величиной и приобретает числовой смысл только в процессе определения интервалов. Поэтому

выборочная дисперсия имеет объективный смысл, хотя и определяется через x по формуле $S^2 = \overline{(X - \bar{x})^2}$; дело в том, что $X - \bar{x}$ является интервалом.

Шкалы отношений

Пусть наблюдаемые величины удовлетворяют не только аксиомам 4° и 5°, но и аксиомам аддитивности:

6°. Если $A = P$ и $B > 0$, то $A + B > P$.

7°. $A + B = B + A$.

8°. Если $A = P$ и $B = Q$, то $A + B = P + Q$.

9°. $(A + B) + C = A + (B + Q)$.

Это существенное усиление шкалы: измерения в такой шкале являются «полноправными» числами, с ними можно выполнять любые арифметические действия, так как вычитание, умножение и деление – лишь частные случаи сложения. Введенная таким образом шкала называется *шкалой отношений*. Этот класс шкал обладает следующей особенностью: отношение двух наблюдаемых значений измеряемой величины не зависит от того, в какой из таких шкал произведены измерения: $x_x/x_2 = y_1/y_2$. Этому требованию удовлетворяет соотношение вида $y = ax$ ($a \neq 0$). Таким образом, величины, измеряемые в шкале отношений, имеют естественный абсолютный нуль, хотя остается свобода в выборе единиц. В самом деле, при наличии абсолютного нуля свобода в выборе начала отсчета исчезает, и в формуле связи между разными системами координат, выведенной для интервальных шкал, второй член равен нулю (так как $p(c, c_1) = p(c, c) = 0$), откуда и следует $y = ax$.

Примерами величин, природа которых соответствует шкале отношений, являются длина, вес, электрическое сопротивление, деньги.

Шкалы разностей

К числу шкал, единственных с точностью до линейных преобразований, относятся шкала интервалов ($y = ax + b$, $a > 0$ и b произвольны) и шкала отношений ($y = ax$, $a > 0$ – преобразование растяжения). Рассмотрим особенности шкал, инвариантных к сдвигу: $y = x + \delta$.

Повторно применяя сдвиг к $y(z = y + h = x + 2b)$, затем к z и т. д., обнаруживаем, что в такой шкале значение не изменяется при любом числе сдвигов: $y = x + nb$, $n = 0, 1, 2, \dots$. Постоянная b является характерным параметром

шкалы и называется ее *периодом*. Полученную шкалу будем называть *шкалой разностей* (иногда ее также называют *циклической* или *периодической*). В таких шкалах измеряется направление из одной точки (шкала компаса, роза ветров и т. д.), время суток (циферблат часов), фаза колебаний (в градусах или радианах).

Циклические шкалы являются частным случаем интервальных шкал. Однако соглашение о хотя и произвольном, но едином для нас начале отсчета шкалы позволяет использовать показания в этой шкале как числа, применять к ним арифметические действия (до тех пор, пока кто-нибудь не забудет об условности нуля, например, при переходе на летнее время или обратно, пересечении линии смены дат и т. д.).

Абсолютная шкала

Рассмотрим такую шкалу, которая имеет и абсолютный нуль, и абсолютную единицу. Эта шкала не единственна с точностью до какого-либо преобразования, а просто единственна, уникальна. Именно такими качествами обладает числовая ось, которую естественно назвать *абсолютной шкалой*. Важной особенностью абсолютной шкалы по сравнению со всеми остальными является отвлеченность (безразмерность) и абсолютность ее единицы. Указанная особенность позволяет производить над показаниями абсолютной шкалы такие операции, которые недопустимы для показаний других шкал, — употреблять эти показания в качестве показателя степени и аргумента логарифма. Числовая ось используется как измерительная шкала в явной форме при счете предметов, а как вспомогательное средство присутствует во всех остальных шкалах. Внутренние свойства числовой оси, при всей кажущейся ее простоте, оказываются чрезвычайно разнообразными, и теория чисел до сих пор не исчерпала их до конца. А некоторые безразмерные числовые отношения, обнаруживаемые в природе, вызывают восхищение и изумление (явления резонанса; гармонические отношения размеров, звуков; законы теории подобия и размерности; квантование энергии элементарных частиц и т. п.).

Согласование шкалы с природой наблюдений

В табл. 1.1 приведены основные сведения о всех рассмотренных в данном параграфе измерительных шкалах. Можно сказать, что чем сильнее шкала, в которой производятся измерения, тем больше сведений об изучаемом объекте, явлении, процессе дают измерения. Поэтому так естественно стрем-

ление каждого исследователя провести измерения в возможно более сильной шкале. Однако важно иметь в виду, что выбор шкалы измерения должен ориентироваться на объективные отношения, которым подчинена наблюдаемая величина, и лучше всего производить измерения в той шкале, которая максимально согласована с этими отношениями. Можно измерять и в шкале, более слабой, чем согласованная (это приведет к потере части полезной информации), но применять более сильную шкалу опасно: полученные данные на самом деле не будут иметь той силы, на которую ориентируется их обработка.

Аналогичная ситуация имеет место и после того, как проведены измерения. У исследователя могут быть причины, побуждающие его преобразовать протокол наблюдений, переведя их из одной шкалы в другую. Если при этом данные переводятся в более слабую шкалу, то обычно исследователь отдает себе отчет в том, что в результате происходит некоторое ухудшение качества выводов. Иногда же исследователи усиливают шкалы; типичный случай «оцифровка» качественных шкал: классам в номинальной или порядковой шкале присваиваются номера, с которыми дальше «работают» как с числами. Если в этой обработке не выходят за пределы допустимых преобразований, то «оцифровка» – это просто перекодировка в более удобную (например, для ЭВМ) форму. Однако применение других операций сопряжено с заблуждениями и ошибками, так как свойства, навязываемые подобным образом, на самом деле не имеют места.

О других шкалах

Обширный опыт наблюдений в разнообразных областях науки и практики нередко приводил к целесообразности использования шкал, отличающихся от рассмотренных выше. Обсудим наиболее важные и интересные из них.

Очень распространены измерения непрерывных величин, возможные значения которых образуют континуум. По ряду причин результат наблюдения такой величины всегда фиксируется с округлением, с конечной точностью, т. е. так, как будто наблюдаемая величина дискретна. Иногда эта точность связана лишь с выбором числа разрядов в записи наблюдения, и ее можно увеличить, просто наращивая число значащих цифр (что часто делается в компьютерных расчетах). Однако в научных и технических измерениях эта точность ограничивается не тем, на сколько еще частей можно разделить каждое деление шкалы, а классом точности самого прибора.

Итоговая таблица измерительных шкал

Название шкалы	Определяющие отношения	Эквивалентное преобразование шкал	Допустимые операции над данными (первичная обработка)	Вторичная обработка данных
Номинальная	Эквивалентность	Перестановки наименований	Вычисление символа Кронекера δ_n	Вычисление относительных частот и операций над ними
Порядковая	Эквивалентность, предпочтение	Не изменяющее порядка (монотонное)	Вычисление δ_n и рангов R_i	Вычисление относительных частот и выборочных квантилей, операции над ними
Интервальная	Эквивалентность, предпочтение, сохранение отношения интервалов	Линейное преобразование $y = ax + b$, $a > 0$, $b \in R$	Вычисление δ_n , рангов R_i и интервалов (разностей между наблюдениями)	Арифметические действия над интервалами
Циклическая	Эквивалентность, предпочтение, сохранение отношения интервалов, периодичность	Сдвиг $y = x + nb$, $b = \text{const}$, $n = 0, 1, 2$	То же, что и для интервальной шкалы	То же, что и для интервальной шкалы
Отношений	Эквивалентность, предпочтение, сохранение отношения интервалов, сохранение отношения двух значений	Растяжение $y = ax$, $a > 0$	Все арифметические операции	Любая подходящая обработка
Абсолютная	Эквивалентность, предпочтение, сохранение отношения интервалов, сохранение отношения двух значений, абсолютная и безразмерная единица; абсолютный нуль	Шкала уникальна	Все арифметические операции; использование в качестве показателя степени, основания и аргумента логарифма	Любая необходимая обработка

В связи с этим следует различать шкалы, в которых измеряются величины, дискретные по своей природе (например, измерение энергии с точностью до квантов в физике элементарных частиц, подсчет поголовья скота, количества деревьев на данной площади и т. п.), и шкалы, в которых измеряются с конечной точностью непрерывные величины (масса, длина, напряжение, время и т. д.). Первые будем называть *дискретными* шкалами, вторые – *дискретизованными*. Обращение с данными в дискретизованной шкале имеет свои особенности. Важно, что в таких измерениях нельзя фиксировать дробные части деления шкалы, даже если стрелка прибора остановилась между метками: класс точности прибора не гарантирует различения внутри интервала точности. Казалось бы, последующая статистическая обработка совокупности неточных наблюдений может дать повышение точности за счет усреднения. Однако это верно не во всех случаях: все зависит от того, какой параметр распределения данных мы оцениваем, и не изменяет ли погрешность этот параметр. Другими словами, вопрос о влиянии дискретизации на конечный результат не является тривиальным.

Известны случаи, когда «ухудшение» измерения в дискретизованной шкале на самом деле улучшает результат. Например, при определении координат звезд при проектировании изображения участка неба на светочувствительную матрицу рекомендуется расфокусировать изображение так, чтобы световое пятно от звезды охватывало несколько пикселей (ячеек) матрицы. Это увеличивает точность определения положения звезды. Другой интересный эффект дискретизации заключается в том, что при искажении измеряемого параметра распределения наблюдений существует некоторое число усредняемых наблюдений, превышение которого может лишь ухудшить точность конечного результата.

Еще один практически важный класс шкал – *нелинейные*. Так называются шкалы, в которых интервалы не удовлетворяют условиям аддитивности. Иначе говоря, «цена» единичного деления такой шкалы зависит от того, в какой части шкалы находится это деление. Примерами могут служить квадратичная, логарифмическая, экспоненциальная шкалы, «вероятностная бумага», многие номограммы.

Обратим внимание на еще одну особенность типовых шкал. Бросается в глаза резкое, принципиальное отличие между слабыми качественными шкалами – номинальной и порядковой, и сильными количественными шкалами – интервалов, разностей, отношений, абсолютной. Кажущееся очевидным раз-

личие между качеством и количеством, несводимость одного к другому, применительно к измерительным шкалам вдруг теряет очевидность. Во всяком случае возникает интригующий вопрос: является ли переход от качественных шкал к количественным принципиально скачкообразным или существует возможность путем пошагового усиления порядковой шкалы плавно перейти к интервальной?

Усиление порядковых шкал

Возможность постепенного усиления открывается в связи с введением наряду с упорядочением альтернатив понятия *силы предпочтения*. Речь идет о возможности сравнения «расстояний» между упорядоченными альтернативами. Ясно, что как только эти расстояния начнут изменяться в числовых шкалах, так и шкала в целом станет числовой (напомним, что формальное определение интервальной шкалы вводилось именно через определение интервала). Отказ от сравнения сил предпочтения оставляет нас в рамках порядковой шкалы. Существует и промежуточный вариант: сравнивать различия между альтернативами в порядковой шкале. Это – явное усиление шкалы, не переводящее ее, однако, в разряд количественной. Такую шкалу называют *шкалой гиперупорядочения*. Дальнейшее усиление состоит в том, чтобы упорядочивать силы предпочтения. Сходится ли такая последовательность порядковых шкал хотя бы в пределе к числовой шкале и при каких требованиях к нечисловому характеру сил предпочтения – остается пока математически открытым вопросом.

Как пример нетривиального усиления порядковой шкалы при числовом характере сил предпочтения изложим идею шкалы Черчмена и Акоффа на частном примере.

Пусть имеются четыре предмета. Сначала опрашиваемый упорядочивает их в порядке предпочтения: $A \geq B \geq C \geq D$. Затем его просят поставить в соответствие (приписать) предметам любые числа между нулем и единицей, выразив грубо силу предпочтения. Пусть результат таков:

A	B	C	D
1,00	0,85	0,75	0,20

Необходимо уточнить с помощью дальнейших вопросов действительную силу предпочтений опрашиваемого. Например, что он предпочитает, A или B , C и D , вместе взятые. Результат следует как-то отразить в весовых

коэффициентах. Делается предположение, что весовой коэффициент совокупности альтернатив равен сумме их весовых коэффициентов. Если, например, $A > (B \cap C \cap D)$, приписывают новые коэффициенты:

A	B	C	D
1,00	0,65	0,20	0,10

Далее спрашивают, как упорядочиваются B и $(C \cap D)$. Если, по мнению опрашиваемого, $C \cap D > B$, то уменьшают вес B так, чтобы он был меньше суммы весов C и D :

A	B	C	D
1,00	0,25	0,20	0,10

Другие начальные веса при указанных вопросах и ответах могут остаться неизменными, если они сразу отвечали указанным требованиям. Например:

A	B	C	D
1,00	0,33	0,33	0,33

или

A	B	C	D
1,00	0,04	0,03	0,03

Чтобы сократить перебор комбинаций при уточнении шкалы, авторы метода предлагают наиболее предпочтительной альтернативе приписывать единичный вес, а остальные группировать по три и действовать по указанной методике. Если и при этом количество перебираемых комбинаций окажется большим (что неизбежно при большом числе упорядочиваемых объектов), то можно прибегнуть к неполному перебору, применив случайный механизм выбора троек и установив критерий прекращения пересчета весов.

Основным предметом критики порядковой шкалы Черчмена и Акоффа является тот факт, что предположение об аддитивности весов предпочтения в психологии нередко не выполняется: скажем, опрашиваемый может оценивать смесь меда с дегтем иначе, чем суммой весов меда и дегтя; в отдельности то же может относиться и к оценке хлеба с маслом и хлеба, и масла в отдельности.

Интересно отметить, что несмотря на задание сил *предпочтения* в шкале отношений (так как к ним применяются операции сложения и деления), результирующая шкала только приблизительно остается оценочной. Это прежде

всего связано с тем, что опрашиваемые не в состоянии точно описать силы своих предпочтений и задаваемые им числа являются лишь интуитивными приближениями.

Вопросы для самопроверки

1. Измеряемая величина, измерительная информация.
2. Уравнение измерения.
3. Понятие истинного и действительного измеренного значения измеряемой физической величины.
4. Погрешность измерения.
5. Проблема обеспечения единства измерений.
6. Измерение в шкале *наименований*.
7. Какую шкалу называют *номинальной*?
8. Какую шкалу называют *классификационной*?
9. Что такое *порядковая шкала*?
10. Какую шкалу называют *ранговой шкалой*?
11. Аксиомы упорядоченности.
12. Допустимые операции над данными (первичная обработка).
13. Модифицированные порядковые шкалы.
14. Шкалы интервалов.
15. Шкалы отношений.
16. Шкалы разностей.
17. Абсолютная шкала.
18. Согласование шкалы с природой наблюдений.
19. Усиление порядковых шкал.

1.1.3. Виды средств измерений

Для практического измерения единицы величины применяют технические средства, которые имеют нормированные погрешности и называются средствами измерений. К средствам измерений относятся: меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и системы, измерительные принадлежности.

Мерой называют средство измерения, предназначенное для воспроизведения физических величин заданного размера. К данному виду средств из-

мерений относятся гири, концевые меры длины, меры индуктивности и т. п. На практике используют однозначные и многозначные меры, а также наборы и магазины мер. Однозначные меры воспроизводят величины только одного размера (гиря). Многозначные меры воспроизводят несколько размеров физической величины.

Измерительный преобразователь – это средство измерений, которое служит для преобразования сигнала измерительной информации в форму, удобную для обработки или хранения, а также передачи в показывающее устройство. Измерительные преобразователи либо входят в конструктивную схему измерительного прибора, либо применяются совместно с ним, но сигнал преобразователя не поддается непосредственному восприятию наблюдателем. Например, преобразователь может быть необходим для передачи информации в память компьютера, для усиления напряжения и т. д. Преобразуемую величину называют входной, а результат преобразования – выходной величиной. Основной метрологической характеристикой измерительного преобразователя считают соотношение между входной и выходной величинами, называемое функцией преобразования.

Преобразователи подразделяют на первичные (непосредственно воспринимающие измеряемую величину); передающие, на выходе которых величина приобретает форму, удобную для регистрации или передачи на расстояние; промежуточные, работающие в сочетании с первичными и не влияющие на изменение рода физической величины.

Измерительные приборы – это средства измерений, которые позволяют получать измерительную информацию в форме, удобной для восприятия пользователем. Различают измерительные приборы прямого действия и приборы сравнения.

Приборы прямого действия отображают измеряемую величину на показывающем устройстве, имеющем соответствующую градуировку в единицах этой величины. Изменения рода физической величины при этом не происходит.

Приборы сравнения предназначены для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Такие приборы широко используют в научных целях, а также и на практике для измерения таких величин, как яркость источников излучения, давление сжатого воздуха и др.

Измерительные установки и системы – это совокупность средств измерений, объединенных по функциональному признаку со вспомогательными устройствами, для измерения одной или нескольких физических величин

объекта измерений. Обычно такие системы автоматизированы и обеспечивают ввод информации в систему, автоматизацию самого процесса измерения, обработку и отображение результатов измерений для их восприятия пользователем. Такие установки (системы) используют и для контроля (например, производственных процессов). Это особенно актуально для метода статистического контроля.

Измерительные принадлежности – это вспомогательные средства измерений величин. Они необходимы для вычисления поправок к результатам измерений, если требуется высокая степень точности. Например, термометр может быть вспомогательным средством, если показания прибора достоверны при строго регламентированной температуре; психрометр – если строго оговаривается влажность окружающей среды. Следует учитывать, что измерительные принадлежности вносят в результат измерений определенные погрешности, связанные с погрешностью самого вспомогательного средства.

По метрологическому назначению средства измерений делят на два вида – *рабочие средства измерений* и *эталоны*. Рабочие средства измерений применяют для определения параметров (характеристик) технических устройств, технологических процессов, окружающей среды и др. Рабочие средства могут быть лабораторными (для научных исследований), производственными (для обеспечения и контроля заданных характеристик технологических процессов), полевыми (для самолетов, автомобилей, судов и т. п.). Каждый из этих видов рабочих средств отличается особыми показателями. Так, лабораторные средства измерений самые точные и чувствительные, а их показания характеризуются высокой стабильностью. Производственные обладают устойчивостью к воздействиям различных факторов производственного процесса: температуры, влажности, вибрации и т. п., что может сказаться на достоверности и точности показаний приборов. Полевые работают в условиях, постоянно изменяющихся в широких пределах внешних воздействий. Особым средством измерений является эталон.

Вопросы для самопроверки

1. Измеряемая величина, измерительная информация, измерение.
2. Уравнение измерения.
3. Проблема обеспечения единства измерений.
4. Единица физической величины.

5. Проблема преобразования единиц физических величин.
6. Система единиц.
7. Международная система единиц физических величин.
8. Принципы и средства воспроизведения единиц физических величин.

1.1.4. Эталоны, их классификация

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

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

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

Первичному эталону соподчинены вторичные и рабочие (разрядные) эталоны. Размер воспроизводимой единицы вторичным эталоном сличают с государственным эталоном.

Вторичные эталоны (их иногда называют эталоны-копии) могут утверждаться либо Госстандартом РФ, либо государственными научными метрологическими центрами, что связано с особенностями их использования.

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

1.2. Классификация и основные характеристики измерений

Измерение является важнейшим понятием в метрологии. Это организованное действие человека, выполняемое для количественного познания свойств физического объекта с помощью определения опытным путем значения какой-либо физической величины [1].

1.2.1. Виды измерений

Существует несколько видов измерений. При их классификации обычно исходят из характера зависимости измеряемой величины от времени, вида уравнения измерений, условий, определяющих точность результата измерений, и способов выражения этих результатов.

Измерения различают по способу получения информации, характеру изменений измеряемой величины в процессе измерений, количеству измерительной информации, отношению к основным единицам.

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

Прямые измерения – это непосредственное сравнение физической величины с ее мерой. Например, при определении длины предмета линейкой происходит сравнение искомой величины (количественного выражения значения длины) с мерой, т. е. линейкой.

Косвенные измерения отличаются от прямых тем, что искомое значение величины устанавливают по результатам прямых измерений таких величин, которые связаны с искомой определенной зависимостью. Так, если измерить силу тока амперметром, а напряжение – вольтметром, то по известной функциональной взаимосвязи всех трех величин можно рассчитать мощность электрической цепи.

Совокупные измерения сопряжены с решением системы уравнений, составляемых по результатам одновременных измерений нескольких однородных величин. Решение системы уравнений дает возможность вычислить искомую величину.

Совместные измерения – это измерения двух или более неоднородных физических величин для определения зависимости между ними.

Совокупные и совместные измерения часто применяют в измерениях различных параметров и характеристик в области электротехники.

По характеру изменения измеряемой величины в процессе измерений бывают статистические, динамические и статические измерения.

Статистические измерения связаны с определением характеристик случайных процессов, звуковых сигналов, уровня шумов и т. д. Статические измерения имеют место тогда, когда измеряемая величина практически постоянна.

Динамические измерения связаны с такими величинами, которые в процессе измерений претерпевают те или иные изменения. Статические и динамические измерения в идеальном виде на практике редки.

По условиям, определяющим точность результата, измерения делят на три класса.

Измерения максимально возможной точности, достижимой при существующем уровне техники. К ним относят в первую очередь **эталонные измерения**, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин, а также измерения физических констант, прежде всего универсальных (абсолютное значение ускорения свободного падения, гиромагнитное отношение протона и др.). К этому же классу относят и некоторые специальные измерения, требующие высокой точности.

Контрольно-поверочные измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторого заданного значения. Это измерения, выполняемые территориальными органами Госстандарта РФ и заводскими измерительными лабораториями, которые гарантируют погрешность результата с определенной вероятностью, не превышающей некоторого, заранее заданного значения.

Технические измерения, в которых погрешность результата определяется характеристиками средств измерений. Примерами технических измерений являются измерения, выполняемые в процессе производства на машиностроительных предприятиях, на щитах распределительных устройств электрических станций и др.

По способу выражения результатов различают абсолютные и относительные измерения.

Абсолютными называются измерения, которые основаны на прямых измерениях одной или нескольких основных величин или на использовании значений физических констант. Примером абсолютных измерений может служить определение длины в метрах, силы электрического тока в амперах, ускорения свободного падения в метрах на секунду в квадрате.

Относительными называют измерения отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную. В качестве примера относительных измерений можно привести измерение относительной влажности воздуха, определяемой как отношение количества водяных паров в 1 м^3 воздуха к количеству водяных паров, которое насыщает 1 м^3 воздуха при данной температуре.

Основными характеристиками измерений являются: принцип измерений, метод измерений, точность, правильность, достоверность и погрешность.

Принцип измерений – физическое явление или совокупность физических явлений, положенных в основу измерений. Например, измерение массы тела при помощи взвешивания с использованием силы тяжести, пропорциональной массе, измерение температуры с использованием термоэлектрического эффекта.

Метод измерений – совокупность приемов использования принципов и средств измерений. Средствами измерений являются используемые технические средства, имеющие нормированные метрологические свойства.

Точность измерений – это характеристика измерений, отражающая близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Количественно точность можно выразить величиной, обратной модулю относительной погрешности:

$$\varepsilon = \left| \frac{\Delta}{Q} \right|^{-1}. \quad (1.1)$$

Например, если погрешность измерений равна $10^{-2}\% = 10^{-4}$, то точность равна 10^4 .

Правильность измерений определяют как качество измерения, отражающее близость к нулю систематических погрешностей результатов (т. е. таких погрешностей, которые остаются постоянными или закономерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины). Правильность измерений зависит, в частности, от того, насколько действительный размер единицы, в которой выполнено измерение, отличается от ее истинного размера (по определению), т. е. от того, в какой степени были правильны (верны) средства измерений, использованные для данного вида измерений.

Важнейшей характеристикой качества измерений является их достоверность, характеризующая доверие к результатам измерений. Они могут быть достоверные и недостоверные, в зависимости от того, известны или неизвестны вероятностные характеристики их отклонений от истинных значений соответствующих величин. Результаты измерений, достоверность которых неизвестна, не представляют ценности и в ряде случаев могут служить источником дезинформации.

Наличие погрешности ограничивает достоверность измерений, т. е. вносит ограничение в число достоверных значащих цифр числового значения измеряемой величины и определяет точность измерений.

По количеству измерительной информации различают однократные и многократные измерения.

Однократные измерения – это одно измерение одной величины, т. е. число измерений равно числу измеряемых величин. Практическое применение такого вида измерений всегда сопряжено с большими погрешностями, поэтому следует проводить не менее трех однократных измерений и находить конечный результат как среднее арифметическое значение.

Многократные измерения характеризуются превышением числа измерений количества измеряемых величин. Обычно минимальное число измерений в данном случае больше. Преимущество многократных измерений – в значительном снижении влияния случайных факторов на погрешность измерения.

1.2.2. Общие методы измерений

Для точных измерений величин в метрологии разработаны приемы использования принципов и средств измерений, применение которых позволяет исключить из результатов измерений ряд систематических погрешностей и тем самым освобождает экспериментатора от необходимости определять многочисленные поправки для их компенсации, а в некоторых случаях вообще является предпосылкой получения сколько-нибудь достоверных результатов. Многие из этих приемов используют при измерении только определенных величин, однако существуют и некоторые общие приемы, названные методами измерения.

Наиболее просто реализуется метод непосредственной оценки, заключающийся в определении величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия, например взвешивание на циферблатных весах, определение размера детали с помощью микрометра или измерение давления пружинным манометром.

Измерения с помощью этого метода проводятся очень быстро, просто и не требуют высокой квалификации оператора, поскольку не нужно создавать специальные измерительные установки и выполнять какие-либо сложные вычисления. Однако точность измерений чаще всего оказывается невысокой из-за погрешностей, связанных с необходимостью градуировки шкал приборов и воздействием влияющих величин (непостоянство температуры, нестабильность источников питания и пр.).

При проведении наиболее точных измерений предпочтение отдается различным модификациям метода сравнения с мерой, при котором измеряемую величину находят сравнением с величиной, воспроизводимой мерой. Результат измерения либо вычисляют как сумму значения используемой для сравнения меры и показания измерительного прибора, либо принимают равным значению меры.

Метод сравнения с мерой, заключающийся в том, что измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на измерительный прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между ними, называется **методом противопоставления**. Примером этого метода является взвешивание груза на равноплечих весах, когда измеряемая масса определяется как сумма массы гирь, ее уравновешивающих. Применение метода противопоставления позволяет значительно уменьшить воздействие на результаты измерений влияющих величин, поскольку они более или менее одинаково искажают сигналы измерительной информации как в цепи преобразования измеряемой величины, так и в цепи преобразования величины, воспроизводимой мерой. Отсчетное устройство прибора сравнения реагирует на разность сигналов, вследствие чего эти искажения в некоторой степени компенсируют друг друга.

Разновидностью метода сравнения с мерой является также **нулевой метод измерения**, который состоит в том, что подбором размера воспроизводимой мерой величины или путем ее принудительного изменения эффект воздействия сравниваемых величин на прибор сравнения доводят до нуля. В этом случае компенсация воздействий влияющих величин оказывается более полной, а значение измеряемой величины принимается равным значению меры.

При **дифференциальном методе измерения** на измерительный прибор (не обязательно прибор сравнения) подается непосредственно разность измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Этот метод может быть использован, конечно, только в тех случаях, когда просто и точно реализуется операция вычитания величин (длины, перемещения, электрических напряжений). Дифференциальный метод не применяют при измерении таких величин, как температура или твердость тел.

К разновидностям метода сравнения с мерой относится и **метод замещения**, широко применяемый в практике точных метрологических исследований. Сущность метода в том, что измеряемая величина замещается в измерительной установке некоторой известной величиной, воспроизводимой мерой. Замещение может быть полным или неполным, в зависимости от чего

говорят о методе полного или неполного замещения. При полном замещении показания не изменяются, и результат измерения принимается равным значению меры. При неполном замещении для получения значения измеряемой величины к значению меры следует прибавить величину, на которую изменилось показание прибора.

Преимущество метода замещения – в последовательном во времени сравнении измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Благодаря тому, что обе эти величины включаются одна за другой в одну и ту же часть измерительной цепи прибора, точностные возможности измерений значительно повышаются по сравнению с измерениями, проводимыми с помощью других разновидностей метода сравнения, где несимметрия цепей, в которые включаются сравниваемые величины, приводит к возникновению систематических погрешностей. Способ замещения применяется при электрических измерениях с помощью мостов переменного тока, условие равновесия которых определяется не только значениями величин, воспроизводимых элементами плеч моста, но также и влиянием паразитных токов, емкостей, индуктивностей и рядом других факторов. Эти причины вызывают появление погрешностей, которые могут быть исключены, если проводить измерения методом замещения. Для этого вначале мост уравнивается с включенной в его цепь измеряемой величиной, которая затем замещается известной величиной, и мост уравнивается вновь. Если при этом никаких изменений ни в мосте, ни во внешних условиях не происходит, то указанные выше погрешности исключаются почти полностью.

Одним из общих методов измерений является *метод совпадений*, представляющий собой разновидность метода сравнения с мерой. При проведении измерений методом совпадений разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

По принципу метода совпадений построен нониус, входящий в состав ряда измерительных приборов. Так, например, шкала нониуса штангенциркуля имеет десять делений через 0,9 мм. Когда нулевая отметка шкалы нониуса оказывается между отметками основной шкалы штангенциркуля, это означает, что к целому числу миллиметров необходимо добавить число десятых долей миллиметра, равное порядковому номеру совпадающей отметки нониуса.

В рамках перечисленных выше методов измерений в метрологической практике и в общем приборостроении часто применяются специальные прие-

мы для исключения самих источников систематических погрешностей или их компенсации. Рассмотрим наиболее употребительные из этих приемов.

Параметрическая стабилизация очень широко применяется при ответственных измерениях. Этот прием используют для поддержания в заданных пределах температуры и влажности окружающей среды, напряжения питания и т. д. Наиболее распространены такие способы параметрической стабилизации, как термостатирование приборов, защита от воздействия вибраций, использование эффективных стабилизаторов в цепях электропитания приборов, экранирование приборов для защиты их от воздействия посторонних электрических, магнитных, радиационных и других полей. Применение этих способов иногда позволяет избежать введения в результаты измерения поправок.

Параметрическая стабилизация очень широко применяется при ответственных измерениях. Этот прием используют для поддержания в заданных пределах температуры и влажности окружающей среды, напряжения питания и других. Наиболее распространены такие способы параметрической стабилизации, как термостатирование приборов, защита от воздействия вибраций, использование эффективных стабилизаторов в цепях электропитания приборов, экранирование приборов для защиты их от воздействия посторонних электрических, магнитных, радиационных и других полей. Применение этих способов иногда позволяет избежать введения в результаты измерения поправок.

Способ компенсации постоянных и периодических *погрешностей по знаку*. При реализации этого способа процесс измерения строится таким образом, что постоянная систематическая погрешность входит в результат измерения один раз с одним знаком, а другой раз – с другим. Тогда среднее из двух полученных результатов оказывается свободным от постоянной погрешности.

Способ вспомогательных измерений применяется в тех случаях, когда воздействие влияющих величин на результаты измерений вызывает большие погрешности измерений. Тогда идут на заведомое усложнение схемы измерительной установки, включая в нее элементы, воспринимающие значение влияющих величин, автоматически вычисляющие соответствующие поправки и вносящие их в полезные сигналы, которые поступают на отсчетные или регулирующие устройства. Способ вспомогательных измерений в большой степени относится к инструментальным методам борьбы с систематическими погрешностями, поэтому в рамках настоящего курса не рассматривается.

Вообще следует заметить, что многие из приведенных методов и приемов исключения систематических погрешностей в настоящее время все в большей степени реализуются схемами самих измерительных средств. В результате разработка методологии измерений приобретает все большее значение непосредственно для проектирования измерительной аппаратуры.

Линейные косвенные измерения

Линейная функциональная зависимость между измеряемой величиной Y и измеряемыми параметрами X_i в общем виде выражается формулой

$$Y = \sum_{i=1}^m b_i X_i \quad (1.2)$$

тогда $M[Y] = \sum_{i=1}^m b_i M[X_i]$.

Поэтому, располагая оценками параметров X_i , за оценку измеряемой величины Y_i естественно принять

$$\tilde{Y} = \sum_{i=1}^m b_i \tilde{X}_i, \quad (1.3)$$

так как при несмещенности и состоятельности оценок \tilde{X}_i получим несмещенную и состоятельную оценку \tilde{Y} .

Кроме того,

$$D[Y] = \sum_{i=1}^m b_i^2 D[X_i]. \quad (1.4)$$

Каждая полученная оценка параметра \tilde{X}_i обладает некоторой фиксированной погрешностью $\Delta_i = \tilde{X}_i - X_i$, причем $\Delta_i = \Delta_{ci} + \overset{0}{\Delta_{ci}}$, где Δ_{ci} и $\overset{0}{\Delta_{ci}}$ – систематическая случайная составляющая.

Из погрешностей измерений параметров складывается погрешность результата косвенного измерения. Подставив в (1.3) оценки \tilde{X}_i , получим

$$\tilde{Y} = \sum_{i=1}^m b_i (X_i + \Delta_i). \quad (1.5)$$

Отсюда находим погрешность косвенного измерения:

$$\Delta_y = \sum_{i=1}^m b_i \Delta_{ci} + \sum_{i=1}^m b_i^0 \Delta^0. \quad (1.6)$$

Таким образом, при косвенных измерениях суммированием составляющих находят не только границы случайной погрешности результата, как при прямых измерениях, но и систематические погрешности.

Рассмотрим сначала случайные погрешности результата косвенного измерения. Реализации систематических составляющих погрешностей оценок всех X при этом нужно считать неизменными. Найдем дисперсию случайной погрешности:

$$D[\Delta]^0 = D\left[\sum_{i=1}^m b_i \Delta_i^0\right] = \sum_{i=1}^m b_i^2 D[\Delta_i^0]. \quad (1.7)$$

Необходимо отметить, что $D[\Delta_i^0] = D[\Delta] = D[Y]$.

Приведенное соотношение справедливо в случае независимости погрешностей измерений аргументов. Если же между погрешностями измерений параметров имеется корреляция, то

$$D[\Delta_i^0] = D[\tilde{Y}] = \sum_{i=1}^m b_i^2 D[\Delta_i^0] + \sum_{k=1}^m b_k b_i \rho_{ki} \sqrt{D[\Delta_k^0] D[\Delta_i^0]}, \quad (1.8)$$

где ρ_{ki} – коэффициент корреляции между случайными погрешностями измерения параметров.

Коэффициент корреляции между погрешностями измерений параметров, как известно, определяет степень связи между случайными величинами. Возможные значения коэффициента корреляции лежат в интервале от -1 до $+1$. Для случайных погрешностей измерений параметров X_k и X_i , если $\rho_{ki} = 0$, погрешности измерений некоррелированы, если $\rho_{ki} = 1$, тогда и только тогда, когда между результатами наблюдений существует линейная функциональная зависимость.

Корреляция между погрешностями измерений параметров чаще всего возникает в тех случаях, когда измерения выполняются одновременно и изменения влияющих величин (температуры, влажности воздуха, напряжения питания и т. п.), хотя и допустимые сами по себе, оказывают некоторое влия-

ние на результаты измерения. Если же параметры измеряют в разное время и для их измерения применяют разные по устройству средства измерения, то нет оснований ожидать появления корреляции между погрешностями этих измерений.

Случайную погрешность результата косвенных измерений, образующуюся сложением случайных погрешностей результатов измерений параметров, можно считать нормально распределенной случайной величиной. Это позволяет найти доверительный интервал для истинного значения измеряемой величины Y .

Если число наблюдений, выполненных при измерении всех параметров, превышает 25–30, то доверительная граница случайной погрешности результата косвенного измерения будет

$$\varepsilon = Z_{\frac{1-a}{2}} \sigma(Y), \quad (1.9)$$

где $Z_{\frac{1-a}{2}}$ – квантиль нормированного нормального распределения, соответствующая выбранной доверительной вероятности a .

Трудность возникает при меньшем числе наблюдений. В принципе при этом можно использовать распределение Стьюдента, но неизвестно, как определить число степеней свободы. Можно лишь утверждать, что оно должно быть больше, чем число степеней свободы, отвечающее параметру, при измерении которого сделано минимальное число наблюдений. Точного решения задача не имеет.

Обратимся к задаче оценивания систематических составляющих погрешности. Постоянные и найденные систематические погрешности измерений параметров следует считать исключенными благодаря введению поправок.

Рассмотрим вычисление доверительных границ неисклученной систематической погрешности результата косвенных измерений.

Неисклученными систематическими погрешностями могут быть погрешности метода, средств измерения параметров, а также погрешности, вызванные другими источниками.

Реализации неисклученных систематических составляющих Δ_c будем по совокупности возможных аналогичных измерений рассматривать как реализации случайной величины. Для каждой из составляющих Δ_{c_1} находят границы возможных значений. При этом, принимая элементарные систематические погрешности за случайные величины с равномерной плотностью рас-

пределения, получим, что распределение Δ_c изменяется в зависимости от числа слагаемых от равномерного до нормального. Причем для вычисления границ неисключенной систематической погрешности результата измерения целесообразно пользоваться разными формулами.

Если составляющие Δ_{c_i} общей погрешности Δ_c считать распределенными в пределах своих границ θ_i и поскольку всегда должно выполняться условие

$$\sum_{i=1}^n b_i \theta_i \leq 0, \quad (1.10)$$

то в качестве оценки границы результирующей неисключенной систематической погрешности косвенных измерений следует принимать значение, рассчитанное в соответствии с условием

$$\theta = \begin{cases} k_i \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2 \theta_i^2}, & \text{если } k_c \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2 \theta_i^2} < \sum_{i=1}^n b_i \theta_i, \\ \sum_{i=1}^n b_i^2 \theta_i^2, & \text{если } k_c \sqrt{\sum_{i=1}^n b_i^2 \theta_i^2} \geq \sum_{i=1}^n b_i \theta_i, \end{cases} \quad (1.11)$$

где k_c – коэффициент, значения которого приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Значения коэффициента k_c

Число слагаемых n	Значения коэффициента k_c при доверительной вероятности a			
	0,90	0,95	0,99	0,9973
2	0,97	1,10	1,27	1,34
3	0,96	1,12	1,37	1,50
4	*	1,12	1,41	1,58
5	*	*	1,42	1,61
6	*	*	*	1,64
...
∞	0,95	1,13	1,49	1,73

Примечание. Для граф таблицы, отмеченных *, коэффициент k_c не вычисляется, так как q при данном n выходит за пределы крайнего интервала.

В ряде случаев раздельная оценка систематической и случайной погрешностей результата исчерпывает задачу оценивания погрешности результата измерения.

Однако часто необходимо найти общую погрешность измерения, включающую в себя и случайную, и систематическую составляющие.

Суммирование случайной и неисключенной систематической составляющих общей погрешности косвенного измерения D при необходимости выполняется с помощью формулы

$$\Delta = \theta + t_c S_{\bar{x}}. \quad (1.12)$$

Эта формула достаточно проста, но дает заведомо преувеличенную оценку. Более правдоподобную оценку для D можно найти следующим путем: коэффициент t_c , определяющий соотношение между доверительной границей и средним квадратическим отклонением случайной погрешности, находится по распределению Стьюдента и известен. Имея оценки для q и σ_{Δ_c} , можно считать, что известен аналогичный коэффициент для систематической погрешности:

$$t_{\Delta_c} = \frac{\theta}{\sigma_{\Delta_c}}. \quad (1.13)$$

Искомый коэффициент t_Σ естественно считать какой-то функцией t_c и t_{Δ_c} , отвечающей одной и той же вероятности. В качестве такой функции взято среднее взвешенное значение, определяемое выражением

$$t_\Sigma = \frac{\theta + \varepsilon}{\sigma_{\Delta_c} + \sigma}. \quad (1.14)$$

Если по каким-либо причинам поправки к результатам измерений аргументов нужно использовать для уточнения непосредственно результата косвенного измерения, то в соответствии с формулой (1.3) для этого нужно воспользоваться соотношением

$$C = \sum_{i=1}^m b_i C_i, \quad (1.15)$$

где C , C_i – поправки к результатам измерений \tilde{Y} и \tilde{X}_i .

Нелинейные косвенные измерения

Оценивание измеряемой величины подстановкой в формулу (1.3) оценок параметров в общем случае допустимо только тогда, когда эта процедура соответствует определению конкретной измеряемой величины за счет линейного преобразования параметров. В других случаях возможность такого решения необходимо подтверждать. Исследование этого вопроса можно выполнить на основе разложения функции (1.2) в ряд Тейлора, обычно применяемый для оценивания погрешностей косвенных нелинейных измерений.

Значение погрешности измерения всегда существенно меньше самой измеряемой величины, следовательно, данная функция может быть с высокой степенью точности представлена разложением в окрестности точки с координатами $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$ в ряд Тейлора, в котором учтены члены только первой степени:

$$Y = F(x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}) + \sum_{i=1}^n \frac{dF}{dx_i} dx_i, \quad (1.16)$$

где x_{0i} – среднее арифметическое значение, полученное в результате прямых измерений.

Дисперсию суммы случайных величин записывают соотношением

$$D[\sum_{i=1}^n K_i x_i] = \sum_{i=1}^n K_i D(x_i) + 2 \sum_{i=2}^n K_i K_j K_{ij}, \quad (1.17)$$

где K_i, K_j – неслучайные числа; $D(x_i)$ – дисперсия величины x_i ; K_{ij} – корреляционный момент величин x_j и x_i .

Пользуясь соотношением (1.16), запишем формулу для оценки случайной погрешности косвенно измеряемой величины в следующем виде:

$${}^0\Delta Y = \sqrt{\sum_{i=2}^n \left(\frac{dP}{dx_i}\right)^2 (\Delta x_i)^2 + 2 \sum_{ij} \frac{dP}{dx_i} \frac{dF}{dx_i} K_{ij}} \cong \sqrt{\sum_{i=2}^n \left(\frac{dP}{dx_i}\right)^2 (\Delta x_i)^2 + 2 \sum_{i=1}^n \frac{dF}{dx_i} r_{ij} {}^0\Delta x_i {}^0\Delta x_j S}, \quad (1.18)$$

где r_{ij} – коэффициент корреляции величин $\Delta x_i, \Delta x_j$; $\frac{dP}{dx_i}, \frac{dF}{dx_j}$ – так называемые коэффициенты влияния.

Если прямо измеряемые величины некоррелированы, то формула (1.17) примет вид

$$\Delta Y = \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{dF}{dx_i} \Delta x_i \right)^2} = \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2}. \quad (1.19)$$

Слагаемые $A_i = \frac{dF}{dx_i} \Delta x_i$ называют частными погрешностями косвенно измеряемой величины Y .

Формулы (1.18) и (1.19) употребляют в предположении, что систематические погрешности устранены или учтены ранее каким-либо способом.

При наличии систематических погрешностей Δx_{ic} в результатах измеряемых величин x_i общую систематическую погрешность косвенного измерения ΔY_c вычисляют по формуле

$$\Delta Y_c = \sum_{i=1}^n \frac{dY}{dx_i} \Delta x_{ic} = dF(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (1.20)$$

или для относительной погрешности:

$$\frac{\Delta Y}{Y} = \frac{dF(x_1, x_2, \dots, x_n)}{F(x_1, x_2, \dots, x_n)} = d[\ln F(x_1, x_2, \dots, x_n)], \quad (1.21)$$

где Δx_{ic} – систематическая погрешность измерения x_i .

Выведение рабочей формулы в соответствии с формулой (1.19) иногда связано с громоздкими преобразованиями. Эти преобразования существенно решаются для случаев, когда функция, связывающая Y и x_i , является логарифмируемой.

Если частные погрешности A_i косвенно измеряемой величины Y не зависят одна от другой, то погрешность измерения Y является результатом (функцией) действия частных погрешностей. Существуют следующие методы расчета погрешностей измерения: максимума-минимума, квадратичного суммирования и вероятностный.

По методу максимума-минимума погрешность измерения находят арифметическим суммированием предельных значений всех частных по-

грешностей – отдельно складывают все положительные и отдельно все отрицательные частные погрешности. Этот метод дает значительно завышенное значение погрешности измерения DY . Применяется при расчете допусков.

По методу квадратичного сложения значения всех частных погрешностей суммируются квадратично, т. е. вычисляется корень квадратный из суммы их квадратов. Данный метод дает относительно правильную оценку погрешности DY при некоррелированных Δx_i , если их коэффициенты влияния $\frac{dF}{dx_i} = 1$. Обычно $\frac{dF}{dx_i} < 1$. Пренебрежение корреляционными связями может как занижать, так и завышать значения погрешности DY . В общем случае, не зная корреляционных связей, трудно судить о степени точности значения средней квадратичной погрешности. Вместе с тем в большинстве случаев расчет по этому методу при наличии систематических погрешностей дает завышенное значение погрешности измерения Y .

По вероятностному методу осуществляют алгебраическое суммирование средних значений или математических ожиданий случайных и систематических погрешностей и квадратичное суммирование средних квадратических значений случайных погрешностей. Вероятностный метод дает наиболее точные результаты. При сложении большого числа частных погрешностей, закон распределения которых отличается от нормального, закон распределения погрешности измерения, согласно центральной предельной теореме теории вероятностей, остается близким к нормальному при отсутствии среди частных погрешностей доминирующей. Поэтому для оценки погрешности измерения DY находят математическое ожидание $M(DY)$ и ее дисперсию $D(DY)$. Коэффициент корреляции r_{ij} погрешностей Δx_i и Δx_j учитывает тесноту зависимостей между ними. В случае $r_{ij} = 1$ вероятностная зависимость (1.18) переходит в функциональную.

Метод наименьших квадратов и общая схема его применения

Совместные и совокупные измерения обычно выполняют так, что получаемое число уравнений, связывающих измеряемые величины, превышает число последних. При этом из-за погрешностей измерений даже при точно известной зависимости между величинами нельзя найти такие значения неизвестных, при которых все уравнения выполнялись бы. В этих условиях значения неизвестных, принимаемые за их оценки, находят с помощью метода наименьших квадратов.

Примером совместных измерений может служить нахождение параметров уравнения

$$R = R_{20} + a(t - 20) + b(t - 20)^2, \quad (1.22)$$

выражающего температурную зависимость точного измерительного резистора (платинового термометра сопротивления).

Измеряя одновременно R – сопротивление резистора и t – его температуру и варьируя температуру, получаем несколько уравнений, из которых нужно найти R_{20} – сопротивление резистора при $t = 20$ °С и температурные коэффициенты a и b .

В общем виде можно написать, что имеем уравнение

$$F_0(A, B, C, \dots, x, y, z, \dots) = l, \quad (1.23)$$

где x, y, z, l – известные коэффициенты и непосредственно измеряемые величины; A, B, C – искомые неизвестные.

Подставив полученные из опыта числовые значения x, y, z в уравнение (1.23), получим ряд уравнений вида

$$F_i(A, B, C, \dots, x_i, y_i, z_i, \dots) = l_i, \quad (1.24)$$

которые содержат только неизвестные искомые величины A, B, C и числовые коэффициенты.

Совместное решение полученных уравнений позволяет найти искомые величины.

Пример совокупных измерений – нахождение емкости двух конденсаторов по результатам измерений емкости каждого из них в отдельности, а также при параллельном и последовательном их соединении. Каждое из этих измерений выполняется с одним наблюдением, но в итоге для двух неизвестных будем иметь четыре уравнения:

$$C_1 = x_1, \quad C_2 = x_2, \quad C_1 + C_2 = x_3, \quad \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = x_4. \quad (1.25)$$

Подставив в эти уравнения экспериментально найденные значения x_i , получим систему уравнений, аналогичную уравнениям (1.24).

Как уже отмечалось, обычно число уравнений системы (1.24) превышает число неизвестных и из-за погрешностей измерений нельзя найти такие значения измеряемых величин, чтобы одновременно удовлетворились все уравнения, даже если они сами по себе точно известны. Поэтому уравнения (1.24) в отличие от обычных математических уравнений принято называть условными. При подстановке в условные уравнения (1.24) найденных каким-либо путем значений неизвестных по отмеченным причинам получим:

$$F_i(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}, \dots) - l_i = v_i \neq 0. \quad (1.26)$$

Величины v_i принято называть невязками. Всеобщее признание получило такое решение условных уравнений, которое приводит к минимуму сумму квадратов невязок. Впервые этот принцип был сформулирован Лежандром и называется принципом Лежандра; осуществляется этот принцип методом, который получил наименование метода наименьших квадратов.

Методу наименьших квадратов и его применению при измерениях посвящена обширная литература. Теоретически показано, что при нормальном распределении погрешностей метод наименьших квадратов приводит к оценкам неизвестных, удовлетворяющим принципу максимума правдоподобия, т. е. наиболее вероятным оценкам.

Мы остановимся на практическом применении метода наименьших квадратов. Сначала рассмотрим применение метода для измерений, при которых условные уравнения являются линейными и точными. Для сокращения записей возьмем случай с тремя неизвестными.

Пусть система условных уравнений имеет вид

$$Ax_i + By_i + Cz_i = l_i, \quad (1.27)$$

где A, B, C – искомые неизвестные; x_i, y_i, z_i, l_i – результаты i -го наблюдения и известные коэффициенты.

В общем случае число неизвестных m , причем $m < n$; если $m = n$, то система условных уравнений решается однозначно, хотя получающиеся результаты и отягощены погрешностями.

Если в (1.27) подставить какие-то оценки измеряемых величин $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}$, то получим невязки

$$v_i = \tilde{A}x_i + \tilde{B}y_i + \tilde{C}z_i - l_i. \quad (1.28)$$

Найдем оценки \tilde{A} , \tilde{B} , \tilde{C} из условия

$$Q = \sum_{i=1}^n v_i^2 = \min. \quad (1.29)$$

Для выполнения этого условия необходимо, чтобы

$$\frac{dQ}{dA} = \frac{dQ}{dB} = \frac{dQ}{dC} = 0. \quad (1.30)$$

Найдем эти частные производные и приравняем их к нулю:

$$\frac{dQ}{dA} = 2 \sum_{i=1}^n (\tilde{A}x_i + \tilde{B}y_i + \tilde{C}z_i - l_i)x_i = 0, \quad (1.31)$$

$$\frac{dQ}{dB} = 2 \sum_{i=1}^n (\tilde{A}x_i + \tilde{B}y_i + \tilde{C}z_i - l_i)y_i = 0, \quad (1.32)$$

$$\frac{dQ}{dC} = 2 \sum_{i=1}^n (\tilde{A}x_i + \tilde{B}y_i + \tilde{C}z_i - l_i)z_i = 0. \quad (1.33)$$

Отсюда получаем систему так называемых нормальных уравнений:

$$\tilde{A} \sum_{i=1}^n x_i^2 + \tilde{B} \sum_{i=1}^n x_i y_i + \tilde{C} \sum_{i=1}^n x_i z_i = \sum_{i=1}^n x_i l_i, \quad (1.34)$$

$$\tilde{A} \sum_{i=1}^n x_i y_i + \tilde{B} \sum_{i=1}^n y_i^2 + \tilde{C} \sum_{i=1}^n y_i z_i = \sum_{i=1}^n y_i l_i, \quad (1.35)$$

$$\tilde{A} \sum_{i=1}^n z_i x_i + \tilde{B} \sum_{i=1}^n z_i y_i + \tilde{C} \sum_{i=1}^n z_i^2 = \sum_{i=1}^n z_i l_i. \quad (1.36)$$

При написании нормальных уравнений часто пользуются обозначениями Гаусса:

$$\sum_{i=1}^n x_i^2 = [xx], \quad \sum_{i=1}^n x_i y_i = [xy]. \quad (1.37)$$

Очевидно, что

$$\sum_{i=1}^n x_i y_i = \sum_{i=1}^n y_i x_i, \text{ т. е. } [xy] = [yx]. \quad (1.38)$$

В обозначениях Гаусса нормальные уравнения принимают более простой вид:

$$\left. \begin{aligned} [xx]\tilde{A} + [xy]\tilde{B} + [xz]\tilde{C} &= [xl], \\ [xy]\tilde{A} + [yy]\tilde{B} + [yz]\tilde{C} &= [yl], \\ [xz]\tilde{A} + [yz]\tilde{B} + [zz]\tilde{C} &= [zl]. \end{aligned} \right\} \quad (1.39)$$

Число нормальных уравнений равно числу неизвестных, и их решение известными методами дает интересующие нас оценки измеряемых величин. Наиболее кратко решение записывается с помощью определителей:

$$\tilde{A} = \frac{D_x}{D}; \quad \tilde{B} = \frac{D_y}{D}; \quad \tilde{C} = \frac{D_z}{D}. \quad (1.40)$$

Оценки дисперсий найденных значений неизвестных можно вычислить, пользуясь формулами:

$$\left. \begin{aligned} S^2(\tilde{A}) &= \frac{D_{11}}{D} S^2, \\ S^2(\tilde{B}) &= \frac{D_{22}}{D} S^2, \\ S^2(\tilde{C}) &= \frac{D_{33}}{D} S^2. \end{aligned} \right\} \quad (1.41)$$

где D_{11}, D_{22}, D_{33} – алгебраические дополнения элементов $[xx], [yy]$ и $[zz]$ определителя D соответственно (они получаются путем удаления из матрицы определителя D столбца и строки, на пересечении которых находится данный элемент); S^2 – оценка дисперсии условных уравнений.

Оценка дисперсии условных уравнений вычисляется по формуле

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2}{n - m}. \quad (1.42)$$

Метод наименьших квадратов дает возможность найти оценки измеряемых величин и оценить их средние квадратические отклонения.

Доверительные интервалы для истинных значений измеряемых величин строят на основе распределения Стьюдента. Число степеней свободы при этом для всех измеряемых величин равно $n - m$.

Приведение линейных неравноточных условных уравнений к равноточным

При неравноточных условных уравнениях наиболее вероятную совокупность значений неизвестных A, B, C, \dots получим, если минимизировать

$$Q = \sum_{i=1}^n g_i v_i^2, \quad (1.43)$$

где g_i – вес i -го условного уравнения.

Введение весов равносильно умножению условных уравнений на $\sqrt{g_i}$. В итоге в коэффициенты при неизвестных в нормальных уравнениях войдут сомножители g_i .

Так, первое из системы нормальных уравнений (1.39) примет вид

$$[gxx]\tilde{A} + [gxy]\tilde{B} + [gxz]\tilde{C} + [gxl] = 0. \quad (1.44)$$

Аналогично изменятся и все остальные уравнения. При этом каждый коэффициент уравнения представляет собой сумму членов вида

$$[gxy] = g_1 x_1 y_1 + g_2 x_2 y_2 + \dots + g_n x_n y_n. \quad (1.45)$$

Веса условных уравнений находят из условий:

$$\sum_{i=1}^n B_i = 1, \quad (1.46)$$

$$B_1; B_2; \dots; B_n = \frac{1}{\sigma_1^2}; \frac{1}{\sigma_2^2}; \dots; \frac{1}{\sigma_n^2}. \quad (1.47)$$

Следовательно, для решения задачи нужно знать дисперсии условных уравнений. Если веса определены (или выбраны), то после приведенных преобразований дальнейшее решение задачи выполняем в полном соответствии с изложенным ранее и в итоге получаем оценки измеряемых величин и их средние квадратические отклонения. Однако обычно веса определяются приближенно.

Линеаризация нелинейных условных уравнений

Метод наименьших квадратов по ряду причин принципиального характера используется только для линейных условных уравнений, поэтому нелинейные условные уравнения желательно преобразовывать к линейному виду.

Общий метод решения данной задачи основан на допущении, что несовместность условных уравнений невелика, т. е. их невязки малы. Тогда, взяв из системы условных уравнений столько уравнений, сколько у нас неизвестных, их решением находим начальные оценки неизвестных A_0, B_0, C_0 . Полагая далее, что

$$A = A_0 + a; B = B_0 + b; C = C_0 + c, \quad (1.48)$$

и подставляя эти выражения в условные уравнения, раскладываем условные уравнения в ряды. Пусть

$$F_i = (A, B, C, \dots) = f_i(A, B, C, \dots) - l_i = 0. \quad (1.49)$$

Тогда, сохраняя лишь члены с первыми степенями поправок a, b, c , получаем:

$$f_i(A_0, B_0, C_0, \dots) - l_i + \left(\frac{df_i}{dA}\right)_0 a + \left(\frac{df_i}{dB}\right)_0 b + \left(\frac{df_i}{dC}\right)_0 c = 0. \quad (1.50)$$

Частные производные находим путем дифференцирования функции $f_i(A, B, C, \dots)$ по A, B, C соответственно, а затем в полученные формулы подставляем A_0, B_0, C_0, b , находим их числовые значения. Кроме того,

$$f_i(A_0, B_0, C_0, \dots) - l_i = \lambda_i \neq 0. \quad (1.51)$$

Таким образом, мы получаем систему линейных условных уравнений относительно a, b, c . Решение ее дает нам их оценки и средние квадратические отклонения. Тогда

$$\tilde{A} = A_0 + \tilde{a}, \tilde{B} = B_0 + \tilde{b}, \tilde{C} = C_0 + \tilde{c}. \quad (1.52)$$

Поскольку A, B, C – неслучайные величины, то

$$S^2(\tilde{A}) = S^2(\tilde{a}), S^2(\tilde{B}) = S^2(\tilde{b}) \text{ и т. д.} \quad (1.53)$$

В принципе, получив $\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}$, можно сделать второе приближение и т. д.

Наряду с рассмотренным общим методом линеаризации условных уравнений пользуются также методом подстановок. Так, если условное уравнение имеет вид

$$y_i = x_i \sin A + z_i e^{-2B}, \quad (1.54)$$

где x, y, z – непосредственно измеряемые величины; A, B требуется определить, то можно сделать подстановку:

$$U = \sin A \ E = e^{-2B}. \quad (1.55)$$

Тогда получим линейное условное уравнение

$$y_i = x_i U + z_i E. \quad (1.56)$$

Решение этих уравнений дает \tilde{y}, \tilde{E} и оценки их дисперсий, используя которые, затем можем найти искомые величины A, B .

Метод подстановок удобен, однако возможен не во всех случаях.

Пример. Рассмотрим совокупные измерения емкости двух конденсаторов. Результаты прямых измерений следующие:

$$\begin{aligned}x_1 &= 0,2071 \text{ мкФ}, x_2 = 0,2056 \text{ мкФ}; \\x_1 + x_2 &= 0,4111 \text{ мкФ}, \quad \frac{x_1 x_2}{x_1 + x_2} = 0,1035 \text{ мкФ}.\end{aligned}$$

Последнее уравнение – нелинейное. Разложим его в ряд Тейлора, для чего найдем сначала частные производные:

$$\frac{df}{dC_1} = \frac{C_2(C_1 + C_2) - C_1 C_2}{(C_1 + C_2)^2} = \frac{C_2^2}{(C_1 + C_2)^2} \quad (1.57)$$

и аналогично

$$\frac{df}{dC_2} = \frac{C_1^2}{(C_1 + C_2)^2}. \quad (1.58)$$

Поскольку $C_1 \approx x_1, C_2 \approx x_2$, то можно записать:

$$C_1 = 0,2070 + e_1, \quad C_2 = 0,2060 + e_2. \quad (1.59)$$

Разложение в ряд выполним для точки с координатами $C_{10} = 0,2070, C_{20} = 0,2060$. Получим:

$$\frac{C_{10} C_{20}}{C_{10} + C_{20}} = 0,10325; \quad (1.60)$$

$$\begin{aligned}\frac{df}{dC_1} &= \frac{0,206^2}{(0,207 + 0,206)^2} = 0,249; \\ \frac{df}{dC_2} &= \frac{0,207^2}{(0,207 + 0,206)^2} = 0,251.\end{aligned}$$

Условные уравнения находим, полагая $x_1 = C_1$, $x_2 = C_2$:

$$1 \cdot e_1 + 0 \cdot e_2 = 0,0025;$$

$$0 \cdot e_1 + 1 \cdot e_2 = -0,0004;$$

$$1 \cdot e_1 + 1 \cdot e_2 = -0,0019;$$

$$0,249 \cdot e_1 + 0,251 \cdot e_2 = 0,00025.$$

Теперь вычислим коэффициенты нормальных уравнений:

$$[xx] = 2,062 \text{e} \quad [xy] = 1,0625;$$

$$[yy] = 2,063; \quad [xl] = -0,001738, \quad [yl] = -0,002237.$$

Нормальными уравнениями будут:

$$2,062e_1 + 1,0625e_2 = -0,001738;$$

$$1,0625e_1 + 2,0630e_2 = -0,002237.$$

Теперь находим искомые e_1 и e_2 . Согласно (1.40) вычисляем:

$$D = \begin{vmatrix} 2,062 & 1,0625 \\ 1,0625 & 2,063 \end{vmatrix} = 3,125;$$

$$D_x = \begin{vmatrix} -0,001738 & 1,0625 \\ -0,002237 & 2,063 \end{vmatrix} = -0,00122;$$

$$D_y = \begin{vmatrix} 2,062 & -0,001738 \\ 1,0625 & -0,002237 \end{vmatrix} = -0,00275.$$

Отсюда находим:

$$e_1 = \frac{D_x}{D} = -0,00039;$$

$$e_2 = \frac{D_y}{D} = -0,00088.$$

Следовательно,

$$\tilde{C}_1 = 0,2070 - 0,00039 = 0,20661 \text{ мкФ};$$

$$\tilde{C}_2 = 0,2060 - 0,00088 = 0,20512 \text{ мкФ}.$$

Остаточные невязки условных уравнений найдем, подставив найденные оценки неизвестных в условные уравнения:

$$v_1 = 0,00049, v_2 = 0,00058;$$

$$v_3 = 0,00063, v_4 = 0,0048.$$

Теперь по формуле (1.42) можно вычислить оценку дисперсии условных уравнений:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^4 U_i^2}{4-2} = \frac{120 \cdot 10^{-7}}{2} = 6 \cdot 10^{-7}.$$

Алгебраическими дополнениями определителя D будут $D_{11} = 2,063$ и $D_{22} = 2,062$. Поскольку $D_{11} \approx D_{22}$, то

$$S^2(\tilde{C}_1) = S^2(\tilde{C}_2) = \frac{D_{11}}{D} S^2 = \frac{2,063}{3,125} 6 \cdot 10^{-7};$$

$$S(\tilde{C}) = S(\tilde{C}_1) = 6,3 \cdot 10^{-4} \text{ мкФ}.$$

Рассмотренный метод измерения емкостей конденсаторов, по-видимому, был выбран для того, чтобы несколько уменьшить систематическую погрешность измерения, различную в разных точках диапазона измерения. Для уменьшения случайной составляющей погрешности было бы достаточно измерение каждой емкости выполнить с многократными наблюдениями. Если приведенное предположение справедливо, то несовместность условных уравнений обусловлена тем, что систематические погрешности были разными в разных точках диапазона измерения. В этом случае вероятностная модель не оправданна и среднее квадратическое отклонение вряд ли можно считать показательным параметром погрешности измерения.

Вопросы для самопроверки

1. Линейные косвенные измерения.
2. Вычисление доверительных границ неисключенной систематической погрешности результата косвенных измерений.

3. Нелинейные косвенные измерения.
4. Метод наименьших квадратов и общая схема его применения.
5. Приведение линейных неравноточных условных уравнений к равноточным.
6. Линеаризация нелинейных условных уравнений.

1.3. Основы теории погрешностей

1.3.1. Погрешности измерений

При анализе измерений следует четко разграничивать два понятия: истинные значения физических величин и их эмпирические проявления – результаты измерений.

Истинные значения физических величин – это значения, идеальным образом отражающие свойства данного объекта как в количественном, так и в качественном отношении. Они не зависят от средств нашего познания и являются абсолютной истиной.

Результаты измерений, напротив, являются продуктами нашего познания. Представляя собой приближенные оценки значений величин, найденные путем измерения, они зависят не только от них, но еще и от метода измерения, от технических средств, с помощью которых проводятся измерения, и от свойств органов чувств наблюдателя, осуществляющего измерения [10].

Как отмечалось ранее, разница Δ между результатами измерения X' и истинным значением Q измеряемой величины называется погрешностью измерения:

$$\Delta = X' - Q. \quad (1.61)$$

Но поскольку истинное значение Q измеряемой величины неизвестно, то неизвестны и погрешности измерения, поэтому для получения хотя бы приближенных сведений о них необходимо в формулу (1.61) вместо истинного значения подставлять так называемое действительное значение.

Под действительным значением физической величины мы будем понимать ее значение, найденное экспериментально и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели оно может быть использовано вместо него.

Причинами возникновения погрешностей являются: несовершенство методов измерений, технических средств, применяемых при измерениях, и органов чувств наблюдателя. В отдельную группу следует объединить при-

чины, связанные с влиянием условий проведения измерений. Последние являются двояко. С одной стороны, все физические величины, играющие какую-либо роль при проведении измерений, в той или иной степени зависят друг от друга. Поэтому с изменением внешних условий изменяются истинные значения измеряемых величин. С другой стороны, условия проведения измерений влияют на характеристики средств измерений и физиологические свойства органов чувств наблюдателя и через их посредство становятся источником погрешностей измерения.

Описанные причины возникновения погрешностей определяются совокупностью большого числа факторов, под влиянием которых складывается суммарная погрешность измерения (см. формулу (1.61)). Их можно объединить в две основные группы.

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

Доля, или составляющая, суммарной погрешности измерения (1.61), определяемая действием факторов этой группы, называется случайной погрешностью измерения. Ее основная особенность в том, что она случайно изменяется при повторных измерениях одной и той же величины.

При создании измерительной аппаратуры и организации процесса измерения в целом интенсивность проявления большинства факторов данной группы удастся свести к общему уровню, так что все они влияют более или менее одинаково на формирование случайной погрешности. Однако некоторые из них, например внезапное падение напряжения в сети электропитания, могут проявиться неожиданно сильно, в результате чего погрешность примет размеры, явно выходящие за границы, обусловленные ходом эксперимента в целом. Такие погрешности в составе случайной погрешности называются грубыми. К ним тесно примыкают промахи — погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений, неверным отсчетом показаний или ошибками при записи результатов.

2. Факторы, закономерно изменяющиеся в процессе измерительного эксперимента или постоянные, например плавные изменения влияющих величин или погрешности применяемых при измерениях образцовых мер. Составляющие суммарной погрешности (1.61), определяемые действием факторов этой группы, называют систематическими погрешностями измерения. Их отличительная особенность в том, что они остаются постоянными или законо-

мерно изменяются при повторных измерениях одной и той же величины. До тех пор пока систематические погрешности больше случайных, их зачастую можно вычислить или исключить из результатов измерений надлежащей постановкой опыта. Таким образом, мы имеем два типа погрешностей измерения:

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

В процессе измерения оба вида погрешностей проявляются одновременно, и погрешность измерения можно представить в виде суммы:

$$\Delta = \delta + \theta, \quad (1.62)$$

где δ – случайная погрешность; θ – систематическая погрешность.

Для получения результатов, минимально отличающихся от истинных значений величин, проводят многократные наблюдения за измеряемой величиной с последующей математической обработкой опытных данных. Поэтому наибольшее значение имеет изучение погрешности как функции номера наблюдения, т. е. времени $\Delta(t)$. Тогда отдельные значения погрешностей можно будет трактовать как набор значений этой функции:

$$\begin{aligned} \Delta &= \Delta(t_1); \\ \Delta &= \Delta(t_2); \\ &\dots \\ \Delta &= \Delta(t_n). \end{aligned} \quad (1.63)$$

В общем случае погрешность является случайной функцией времени, которая отличается от классических функций математического анализа тем, что нельзя сказать, какое значение она примет в момент времени t . Можно указать лишь вероятности появления ее значений в том или ином интервале. В серии экспериментов, состоящих из ряда многократных наблюдений, мы получаем одну реализацию этой функции. При повторении серии при тех же значениях величин, характеризующих факторы второй группы, неизбежно получаем новую реализацию, отличающуюся от первой.

Реализации отличаются друг от друга из-за влияния факторов первой группы, а факторы второй группы, одинаково проявляющиеся при получении каждой реализации, придают им некоторые общие черты (рис. 1.1).

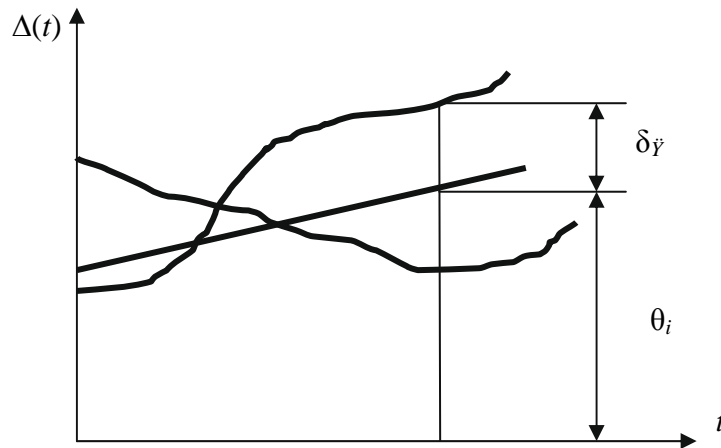


Рис. 1.1. Графики реализаций

Погрешность измерений, соответствующая каждому моменту времени t_1 , называется сечением случайной функции $\Delta(t)$. В каждом сечении в большинстве случаев можно найти среднее значение погрешности Θ_i , относительно которого группируются погрешности в различных реализациях. Если через полученные таким образом точки Θ_i провести плавную кривую, то она будет характеризовать общую тенденцию изменения погрешности во времени. Нетрудно заметить, что средние значения Θ_i определяются действием факторов второй группы и представляют собой систематическую погрешность измерения в момент времени t_i , а отклонения δ_1 от среднего в сечении, соответствующие j -й реализации, дают нам значения случайной погрешности. Последние являются уже представителями случайных величин – объектов изучения классической теории вероятностей.

Предположим, что $\Theta(t_i) = 0$, т. е. систематические погрешности тем или иным способом исключены из результатов наблюдений, и будем рассматривать только случайные погрешности, средние значения которых равны нулю в каждом сечении. Предположим далее, что случайные погрешности в различных сечениях не зависят друг от друга, т. е. знание случайной погрешности в одном сечении как ординаты одной реализации не дает нам никакой дополнительной информации о значении, принимаемом этой реализацией в любом другом сечении. Тогда случайную погрешность можно рассматривать как случайную величину, а ее значения при каждом из многократных наблюдений одной и той же физической величины – как ее эмпирические проявления, т. е. как результаты независимых наблюдений над ней.

В этих условиях случайную погрешность измерений δ определяют как разность между исправленным результатом X измерения и истинным значением Q измеряемой величины:

$$\delta = X - Q, \quad (1.64)$$

причем исправленным называют результат измерений, из которого исключены систематические погрешности.

При проведении измерений целью является оценка истинного значения измеряемой величины, которое до опыта неизвестно. Результат измерения включает в себя помимо истинного значения еще и случайную погрешность, следовательно, сам является случайной величиной. В этих условиях фактическое значение случайной погрешности, полученное при поверке, еще не характеризует точности измерений, поэтому не ясно, какое же значение принять за окончательный результат измерения и как охарактеризовать его точность.

Ответ на эти вопросы можно получить, используя при метрологической обработке результатов измерения методы математической статистики, имеющей дело именно со случайными величинами.

1.3.2. Обнаружение грубых погрешностей

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

Особенно остро ставится вопрос об устранении грубых погрешностей при обработке уже имеющегося материала, когда невозможно учесть все обстоятельства, при которых проводили измерения. В этом случае приходится прибегать к чисто статистическим методам.

Вопрос о том, содержит ли данный результат наблюдений грубую погрешность, решается общими методами проверки статистических гипотез.

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

$$v = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{S_{\bar{x}}}, \text{ или } v = \frac{X_{\min} - \bar{X}}{S_{\bar{x}}}. \quad (1.65)$$

Функции их распределения определяют методами теории вероятностей. Они совпадают между собой и для нормального распределения результатов наблюдений протабулированы и представлены в многочисленных справочниках. По этим данным, при заданной доверительной вероятности α или уровне значимости $q = 1 - \alpha$, можно для количества измерения $n = 3-25$ найти те наибольшие значения v_α , которые случайная величина v может еще принять по чисто случайным причинам.

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

Вопросы для самопроверки

1. Классификация составляющих погрешности измерения: методическая и инструментальная, аддитивная и мультипликативная, основная и дополнительная, статическая и динамическая, систематическая и случайная составляющие.

2. Грубые погрешности и промахи.

3. Современные принципы нормирования и оценивания показателей точности средств измерения и представления результатов измерения.

1.3.3. Описание случайных погрешностей с помощью функций распределения

Рассмотрим результат наблюдений X за постоянной физической величиной Q как случайную величину, принимающую различные значения Z в различных наблюдениях за ней. Значения X_i будем называть результатами отдельных наблюдений. Наиболее универсальный способ описания случайных величин заключается в отыскании их интегральных или дифференциальных функций распределения [11].

Под интегральной функцией распределения результатов наблюдений понимают зависимость вероятности того, что результат наблюдения X_i в i -м опыте окажется меньше некоторого текущего значения x от самой величины x :

$$F_x(x) = P(X_i \leq x). \quad (1.66)$$

Здесь и в дальнейшем большие буквы используются для обозначения случайных величин, а маленькие – для значений, принимаемых случайными величинами. Поскольку функция распределения вероятности представляет собой вероятность, то она удовлетворяет следующим свойствам:

$$0 \leq F_x(x) \leq 1 \text{ при } x \in (-\infty, +\infty);$$

$$F_x(-\infty) = 0, \quad F_x(+\infty) = 1;$$

$$F_x(x) \text{ неубывающая функция};$$

$$P(x_1 \leq X \leq x_2) = F_x(x_2) - F_x(x_1).$$

На рис. 1.2 показаны примеры функций распределения вероятности.

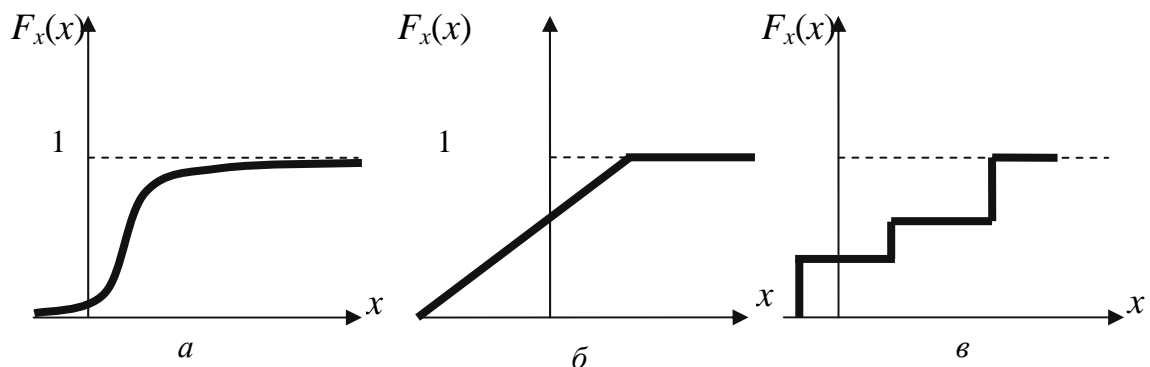


Рис. 1.2. Примеры функций распределения вероятности

Более наглядным является описание свойств результатов наблюдений и случайных погрешностей с помощью дифференциальной функции распределения, иначе называемой плотностью распределения вероятностей:

$$f(x) = \frac{dF_x(x)}{dx}. \quad (1.67)$$

Физический смысл $f(x)$ состоит в том, что произведение $f(x)dx$ представляет вероятность попадания случайной величины X в интервал от x до $x + dx$, т. е.

$$f(x)dx = P(x \leq X \leq x + dx). \quad (1.68)$$

Свойства плотности распределения вероятности:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f(x)dx = 1, \quad (1.69)$$

здесь вероятность достоверного события равна 1. Иными словами, площадь, заключенная между кривой дифференциальной функции распределения и осью абсцисс, равна единице.

$$\int_{x_1}^{x_2} f(x)dx = F_x(x_2) - F_x(x_1), \quad (1.70)$$

здесь вероятность попадания случайной величины в интервал от x_1 до x_2 .

От дифференциальной функции распределения легко перейти к интегральной путем интегрирования:

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x p_x(x)dx. \quad (1.71)$$

Размерность плотности распределения вероятностей, как это следует из формулы (1.67), обратна размерности измеряемой величины, поскольку сама вероятность – величина безразмерная.

Используя понятия функций распределения, легко получить выражения для вероятностей того, что результат наблюдений X или случайная погреш-

ность δ примет при проведении измерения некоторое значение в интервале $[x_1, x_2]$ или $[\delta_1, \delta_2]$. В терминах интегральной функции распределения имеем:

$$\begin{aligned} P(x_1 < X \leq x_2) &= P\{-\infty < X \leq x_2\} - P\{-\infty < X \leq x_1\} = F_x(x_2) - F(x_1); \\ P(\delta_1 < \delta \leq \delta_2) &= P\{-\infty < \delta \leq \delta_2\} - P\{-\infty < \delta \leq \delta_1\} = F_\delta(\delta_2) - F(\delta_1), \end{aligned} \quad (1.72)$$

т. е. вероятность попадания результата наблюдений или случайной погрешности в заданный интервал равна разности значений функции распределения на границах этого интервала.

Заменяя в полученных формулах интегральные функции распределения на соответствующие плотности распределения вероятностей согласно выражению (1.71), получаем формулы для искомой вероятности в терминах дифференциальной функции распределения:

$$P(x_1 < X \leq x_2) = \int_{-\infty}^{x_2} p_x(x)dx - \int_{-\infty}^{x_1} p_x(x)dx = \int_{x_1}^{x_2} p_x(x)dx; \quad (1.73)$$

$$P(\delta_1 < \delta \leq \delta_2) = \int_{-\infty}^{\delta_2} p_\delta(\delta)d\delta - \int_{-\infty}^{\delta_1} p_\delta(\delta)d\delta = \int_{\delta_1}^{\delta_2} p_\delta(\delta)d\delta. \quad (1.74)$$

Таким образом, вероятность попадания результата наблюдения или случайной погрешности в заданный полуоткрытый интервал равна площади, ограниченной кривой распределения, осью абсцисс и перпендикулярами к ней на границах этого интервала. Необходимо отметить, что результаты наблюдений в значительной степени сконцентрированы вокруг истинного значения измеряемой величины и по мере приближения к нему элементы вероятности их появления возрастают. Это дает основание принять за оценку истинного значения измеряемой величины координату центра тяжести фигуры, образованной осью абсцисс и кривой распределения, которую называют математическим ожиданием результатов наблюдений:

$$M[X] = \int_{-\infty}^{\infty} xp_x(x)dx = m_x. \quad (1.75)$$

Дадим более строгое определение постоянной систематической и случайной погрешностям.

Систематической постоянной погрешностью называется отклонение математического ожидания результатов наблюдений от истинного значения измеряемой величины:

$$\theta = M[X] - Q, \quad (1.76)$$

а случайной погрешностью – разность между результатом единичного наблюдения и математическим ожиданием результатов:

$$\delta = X - M[X]. \quad (1.77)$$

В этих обозначениях истинное значение измеряемой величины составляет

$$Q = X - \theta - \delta. \quad (1.78)$$

1.3.4. Моменты случайных погрешностей

Функция распределения является самым универсальным способом описания поведения случайных погрешностей. Однако для определения функций распределения необходимо проведение весьма кропотливых научных исследований и обширных вычислительных работ. Поэтому к такому способу описания случайных погрешностей прибегают иногда при исследовании принципиально новых мер и измерительных приборов.

Значительно чаще бывает достаточно охарактеризовать случайные погрешности с помощью ограниченного числа специальных величин, называемых моментами [6].

Начальным моментом n -го порядка результатов наблюдений называется интеграл вида

$$a_n(X) = M[X^n] = \int_{-\infty}^{\infty} x^n p_x(x) dx, \quad (1.79)$$

представляющий собой математическое ожидание степени X^n .

При $n = 1$

$$a_1(X) = M[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x p_x(x) dx = m_x, \quad (1.80)$$

т. е. первый начальный момент совпадает с математическим ожиданием результатов измерений.

Центральным моментом n -го порядка результатов наблюдений называется интеграл вида

$$\mu_n(X) = M \left\{ [X - m_x]^n \right\} = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x) p_x^n(x) dx. \quad (1.81)$$

Вычислим первый центральный момент:

$$\mu_1(X) = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x) p_x(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} x p_x(x) dx - m_x \int_{-\infty}^{\infty} p_x(x) dx = m_x - m_x = 0. \quad (1.82)$$

Таким образом, первый центральный момент результатов наблюдений равен нулю. Важно отметить, что начальные и центральные моменты случайных погрешностей совпадают между собой и с центральными моментами результатов наблюдений, поскольку математическое ожидание случайных погрешностей равно нулю.

Особое значение наряду с математическим ожиданием результатов наблюдений имеет второй центральный момент, называемый дисперсией результатов наблюдений.

При $n = 2$

$$D[X] = D[\delta] = M \left\{ [X - m_x]^2 \right\} = \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 p_x(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \delta^2 p_{\delta}(\delta) d\delta. \quad (1.83)$$

Дисперсия $D[X]$ случайной погрешности равна дисперсии результатов наблюдений и является характеристикой их рассеивания относительно математического ожидания.

Если математическое ожидание результатов наблюдений можно рассматривать в механической интерпретации как абсциссу центра тяжести фигуры, заключенной между кривой распределения и осью Ox , то дисперсия является аналогом момента инерции этой фигуры относительно вертикальной оси, проходящей через центр тяжести.

Дисперсия имеет размерность квадрата измеряемой величины, поэтому она не совсем удобна в качестве характеристики рассеивания. Значительно

чаще в качестве последней используется положительное значение корня квадратного из дисперсии, называемое средним квадратическим отклонением результатов наблюдений:

$$\sigma_x = \sqrt{D[X]}. \quad (1.84)$$

С помощью среднеквадратического отклонения можно оценить вероятность того, что при однократном наблюдении случайная погрешность по абсолютной величине не превзойдет некоторой наперед заданной величины ε , т. е. вероятность $P\{|\delta| < \varepsilon\}$. Для этого рассмотрим формулу, известную как неравенство Чебышева:

$$P\{|\delta| < \varepsilon\} \geq 1 - \frac{\sigma_x^2}{\varepsilon^2}, \text{ или } P\{|\delta| > \varepsilon\} < 1 - \frac{\sigma_x^2}{\varepsilon^2}. \quad (1.85)$$

Полагая $\varepsilon = 3\sigma_x$, можно найти вероятность того, что результат однократного наблюдения отличается от истинного значения на величину, большую утроенного среднеквадратического отклонения, т. е. вероятность того, что случайная погрешность окажется больше $3\sigma_x$:

$$P\{|\delta| > \varepsilon\} < \frac{\sigma_x^2}{(3\sigma_x)^2} = \frac{1}{9} \approx 0,11. \quad (1.86)$$

Вероятность того, что погрешность измерения не превысит $3\sigma_x$, составит соответственно

$$P\{|\delta| < \varepsilon\} \geq 1 - 0,11 = 0,89. \quad (1.87)$$

Неравенство Чебышева дает только нижнюю границу для вероятности $P\{|\delta| < \varepsilon\}$, меньше которой она не может быть ни при каком распределении. Обычно $P\{|\delta| < 3\sigma\}$ значительно больше 0,89. Так, например, в случае нормального распределения погрешностей эта вероятность составляет 0,9973.

Математическое ожидание и дисперсия являются наиболее часто применяемыми моментами, поскольку они определяют самые важные черты распределения: положение центра распределения и степень его разбросанности.

Для более подробного описания распределения используются моменты более высоких порядков.

Третий момент случайных погрешностей служит характеристикой асимметрии или скошенности распределения. В общем случае любой нечетный момент случайной погрешности характеризует асимметрию распределения. Действительно, если распределение обладает свойством симметрии, то все функции вида $\delta^s p_\delta(\delta)$, где $s = 1, 3, 5, \dots$ являются нечетными функциями δ .

Поэтому все нечетные моменты, являющиеся интегралами этих функций в бесконечных пределах, должны равняться нулю. Отличие этих моментов от нуля как раз и указывает на асимметрию распределения. Простейшим из нечетных моментов является третий момент $\mu_3[\delta]$. Чтобы получить безразмерную характеристику, третий момент делят на третью степень среднеквадратического отклонения и получают коэффициент асимметрии или просто асимметрию S_k распределения:

$$S_k = \frac{\mu_3[\delta]}{\sigma_x^3}. \quad (1.88)$$

Для иллюстрации сказанного на рис. 1.3 приведены три кривые распределения случайных погрешностей с положительной, отрицательной и нулевой асимметрией.

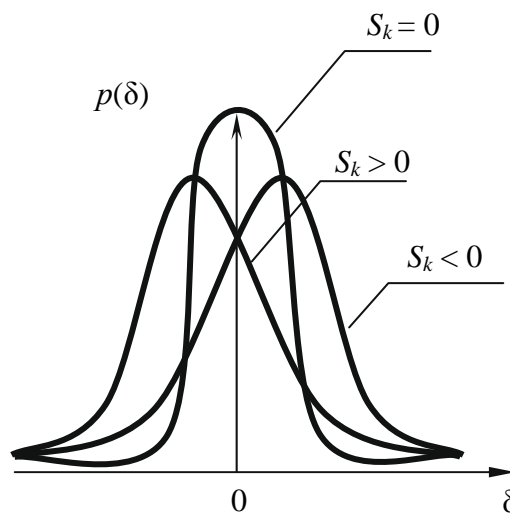


Рис. 1.3. Примеры распределения случайных погрешностей с положительной, отрицательной и нулевой асимметрией

Четвертый момент служит для характеристики плосковершинности или островершинности распределения случайных погрешностей. Эти свойства описываются с помощью эксцесса – безразмерной характеристики, определяемой выражением

$$E_x = \frac{\mu_4[\delta]}{\sigma_x^4} - 3. \quad (1.89)$$

Число 3 вычитают из отношения $\frac{\mu_4[\delta]}{\sigma_y^4}$ потому, что для широко распространенного нормального распределения погрешностей $\mu_4[\delta] = 3\sigma_x^4$. Таким образом, для нормального распределения эксцесс равен нулю, более плосковершинные распределения обладают отрицательным эксцессом, более островершинные – положительным.

Виды распределения результатов наблюдения и случайных погрешностей

Случайная погрешность измерения образуется под влиянием большого числа факторов, сопутствующих процессу измерения. В каждой конкретной ситуации работает свой механизм образования погрешности, поэтому естественно предположить, что каждой ситуации должен соответствовать свой тип распределения погрешности. Однако во многих случаях имеются возможности еще до проведения измерений сделать некоторые предположения о форме функции распределения, так что после проведения измерений остается только определить значения некоторых параметров, входящих в выражение для предполагаемой функции распределения.

Случайная погрешность характеризует неопределенность наших знаний об истинном значении измеряемой величины, полученных в результате проведенных наблюдений. Согласно К. Шеннону, мерой неопределенности ситуации, описываемой случайной величиной X , будет энтропия [5]

$$H = - \int_{-\infty}^{\infty} p_x(x) \ln p_x(x) dx, \quad (1.90)$$

являющаяся функционалом дифференциальной функции распределения $p_x(x)$. Можно предположить, что любой процесс измерения формируется таким об-

разом, что неопределенность результата наблюдений оказывается наибольшей в некоторых пределах, определяемых допускаемыми значениями погрешности. Поэтому наиболее вероятными должны быть такие распределения $p_x(x)$, при которых энтропия обращается в максимум.

Для выявления вида наиболее вероятных распределений рассмотрим несколько наиболее типичных случаев [6].

В классе распределений результатов наблюдений $p_x(x)$, обладающих определенной зоной рассеивания между значениями $x = b$ и $x = a$ шириной $b - a = 2a$, найдем такое, которое обращает в максимум энтропию

$$H = - \int_a^b p_x(x) \ln p_x(x) dx \quad (1.91)$$

при наличии ограничивающих условий:

$$p_x(x) > 0,$$

$$\int_a^b p_x(x) dx = 1, \quad (1.92)$$

$$\int_a^b x p_x(x) dx = m_x,$$

где $m_x = \frac{b+a}{2}$ – математическое ожидание результатов наблюдений. Решение поставленной задачи находится методом множителей Лагранжа.

Искомая плотность распределения результатов наблюдений описывается выражением

$$P_x(X) = \begin{cases} 0, & -\infty < X < a, \\ \frac{1}{b-a} = \frac{1}{2a}, & a \leq x \leq b, \\ 0, & b < x < +\infty. \end{cases} \quad (1.93)$$

Такое распределение результатов наблюдений называется равномерным.

Значения дифференциальной функции распределения равномерной распределенной случайной погрешности постоянны в интервале $[-a; +a]$, а вне этого интервала равны нулю (рис. 1.4).

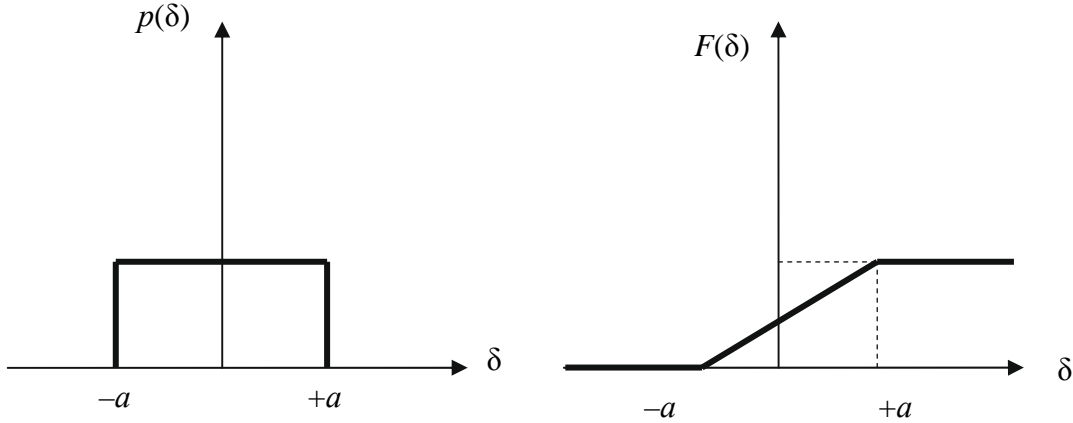


Рис. 1.4. Значения дифференциальной функции распределения равномерной распределенной случайной погрешности

Поэтому выражение для дифференциальной функции распределения случайной погрешности можно записать в виде

$$P_{\delta} = \begin{cases} 0, & -\infty < \delta < -a, \\ \frac{1}{b-a} = \frac{1}{2a}, & -a \leq \delta \leq +a, \\ 0, & +a < \delta < +\infty. \end{cases} \quad (1.94)$$

Определим числовые характеристики равномерного распределения. Математическое ожидание случайной погрешности находим по формуле (1.75):

$$M[\delta] = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta p_{\delta}(\delta) d\delta = \int_{-a}^{+a} \frac{1}{2a} \cdot \frac{\delta^2}{2} \Big|_{-a}^{+a} = \frac{1}{2a} \left[a^2 - (-a)^2 \right] = 0. \quad (1.95)$$

Дисперсию случайной равномерно распределенной погрешности можно найти по формуле (1.83):

$$D[\delta] = \int_{-\infty}^{+\infty} \delta^2 p_{\delta}(\delta) d\delta = \int_{-a}^{+a} \delta^2 \frac{1}{2a} \cdot d\delta \Big|_{-a}^{+a} = \frac{1}{6a} \delta^3 \Big|_{-a}^{+a} = \frac{a^2}{3}, \quad (1.96)$$

$$\sigma_{\delta} = \frac{a}{\sqrt{3}}.$$

В силу симметрии распределения относительно математического ожидания коэффициент асимметрии должен равняться нулю:

$$S_k = \frac{\mu_3[\delta]}{\sigma_\delta^3} = \frac{1}{\sigma_{\delta-a}^3} \int_{-a}^a \frac{1}{2a} \delta^3 d\delta = \frac{1}{8a\sigma_\delta^3} \delta^4 \Big|_{-a}^a = 0. \quad (1.97)$$

Для определения эксцесса найдем вначале четвертый момент случайной погрешности:

$$\mu_4 = \int_{-\infty}^{\infty} \delta^4 p_\delta(\delta) d\delta = \frac{1}{2a} \int_{-a}^a \delta^4 d\delta = \frac{1}{10a} \delta^5 \Big|_{-a}^a = \frac{a^4}{5}. \quad (1.98)$$

Поэтому

$$E_x = \frac{\mu_4}{\sigma_\delta^4} - 3 = \frac{a^4 \cdot 9}{5a^4} - 3 = -1,2. \quad (1.99)$$

В заключение найдем вероятность попадания случайной погрешности в заданный интервал $[\sigma_1, \sigma_2]$, равный заштрихованной площади на рис. 1.5.

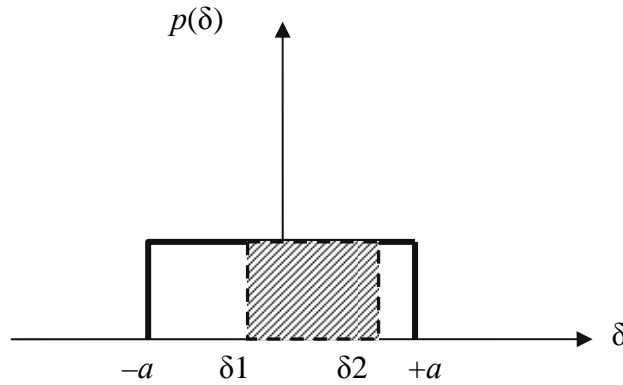


Рис. 1.5. Вероятность попадания случайной погрешности в заданный интервал

$$P(\delta_1 < \delta < \delta_2) = \int_{\delta_1}^{\delta_2} p_\delta(\delta) d\delta = \begin{cases} 0; & \delta_1 < -a & \delta_2 < -a \\ \frac{1}{2a}(\delta_2 + a); & \delta_1 < -a & \delta_2 < +a \\ \frac{1}{2a}(\delta_2 - \delta_1); & \delta_1 > -a & \delta_2 < +a \\ \frac{1}{2a}(a - \delta_1); & \delta_1 > -a & \delta_2 > +a \\ 0; & \delta_1 > +a & \delta_2 > +a \end{cases} \quad (1.100)$$

В классе распределений результатов наблюдений $p_x(x)$, обладающих определенной дисперсией σ_x^2 , найдем такое, которое обращает в максимум энтропию $H = - \int_{-\infty}^{\infty} p_x(x) \ln p_x(x) dx$ при наличии ограничений:

$$p_x(x) > 0, \quad \int_{-\infty}^{\infty} p_x(x) dx = 1, \quad \int_{-\infty}^{\infty} x p_x(x) dx = m, \quad \int_{-\infty}^{\infty} (x - m_x)^2 p_x(x) dx = \sigma_x^2. \quad (1.101)$$

Решение этой задачи также находится методом множителей Лагранжа. Искомая плотность распределения результатов наблюдений описывается выражением

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1.102)$$

где m_x – математическое ожидание; σ_x – среднеквадратическое отклонение результатов наблюдений.

Учитывая, что при полном исключении систематических погрешностей $x - m_x = \delta$ и $\sigma_x = \sigma$, для дифференциальной функции распределения случайной погрешности можно записать уравнение

$$p_\delta(\delta) = \frac{1}{\sigma_\delta \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma_\delta^2}}. \quad (1.103)$$

Распределение, описываемое уравнениями (1.102) и (1.103), называется нормальным или распределением Гаусса.

На рис. 1.6 изображены кривые нормального распределения случайных погрешностей для различных значений среднеквадратического отклонения $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$.

Из рис. 1.6 видно, что по мере увеличения среднеквадратического отклонения распределение все более и более расплывается, вероятность появления больших значений погрешностей возрастает, а вероятность меньших погрешностей сокращается, т. е. увеличивается рассеивание результатов наблюдений.

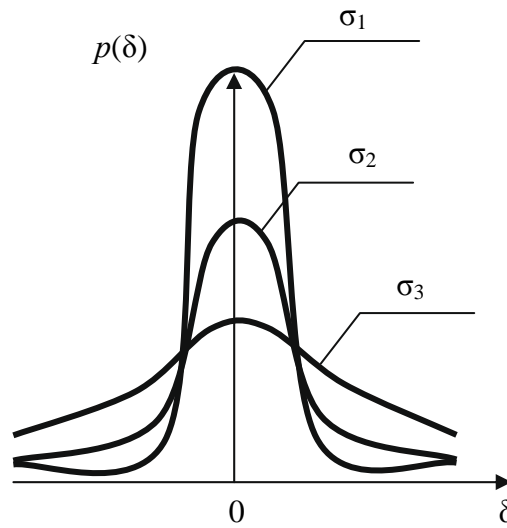


Рис. 1.6. Кривые нормального распределения случайных погрешностей

Вычислим вероятность попадания результата наблюдения в некоторый заданный интервал $(X_1, X_2]$.

Заменим переменные:

$$P(x_1 < X \leq x_2) = \int_{x_1}^{x_2} p_x(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} e^{-\frac{(x-m_x)^2}{2\sigma_x^2}} dx, \quad (1.104)$$

$$\frac{x - m_x}{\sigma_x} = t, \frac{x_1 - m_x}{\sigma_x} = t_1, \frac{x_2 - m_x}{\sigma_x} = t_2, \quad (1.105)$$

после чего получим следующее выражение для искомой вероятности:

$$P(x_1 < X < x_2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_1}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left[\int_{-\infty}^{t_2} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \int_{-\infty}^{t_1} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right]. \quad (1.106)$$

Интегралы, стоящие в квадратных скобках, не выражаются в элементарных функциях, поэтому их вычисляют с помощью так называемого нормированного нормального распределения с дифференциальной функцией

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{t^2}{2}}. \quad (1.107)$$

Интегральная функция нормированного нормального распределения определяется как

$$\Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (1.108)$$

С помощью функции $\Phi(z)$ вероятность $P(x_1 < X \leq x_2)$ находят как

$$P(x_1 < X \leq x_2) = \Phi(t_2) - \Phi(t_1) = \Phi\left(\frac{x_2 - Q}{\sigma_x}\right) - \Phi\left(\frac{x_1 - Q}{\sigma_x}\right). \quad (1.109)$$

При использовании данной формулы следует иметь в виду тождество

$$\Phi(z) \equiv 1 - \Phi(-z), \quad (1.110)$$

вытекающее непосредственно из определения функции $\Phi(z)$.

Широкое распространение нормального распределения погрешностей в практике измерений объясняется центральной предельной теоремой теории вероятностей, являющейся одной из самых замечательных математических теорем, в разработке которой принимали участие многие крупнейшие математики – Муавр, Лаплас, Гаусс, Чебышев и Ляпунов. Согласно центральной предельной теореме распределение случайных погрешностей будет близко к нормальному всякий раз, когда результаты наблюдения формируются под влиянием большого числа независимо действующих факторов, каждый из которых оказывает лишь незначительное действие по сравнению с суммарным действием всех остальных.

Предположим, что результаты наблюдений распределены нормально, но их среднеквадратическое отклонение является величиной случайной, изменяющейся от опыта к опыту. Такое предположение более осторожное, чем предположение о неизменности $\sigma_{\bar{x}}$ в течение всего времени измерений. В этом случае, рассуждая таким же образом, как и прежде, легко найти, что энтропия обращается в максимум, если результаты наблюдений имеют распределение Лапласа с плотностью

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2}} e^{-\sqrt{2} \frac{|x - m_x|}{\sigma_x}}, \quad (1.111)$$

где m_x – математическое ожидание; σ_x – среднее квадратическое отклонение результатов наблюдения. Распределением Лапласа следует пользоваться в тех случаях, когда точностные характеристики заранее неизвестны или нестабильны во времени.

Дифференциальная функция распределения случайных погрешностей получается при подстановке $\delta = x - m_x$ и $\sigma_x = \sigma_\delta$ в выражение (1.103):

$$p_\sigma(\delta) = \frac{1}{\sigma_\delta \sqrt{2}} e^{-\sqrt{2} \frac{|\delta|}{\sigma_\delta}}. \quad (1.112)$$

Асимметрия распределения равна нулю, поскольку распределение симметрично относительно нуля, а эксцесс в соответствии с формулой (1.89) составляет:

$$E_x = \frac{\mu_4[\delta]}{\sigma_\delta^4} - 3 = \frac{1}{\sigma_\delta^4} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{\delta^4}{\sigma_\delta^4 \sqrt{2}} e^{-\sqrt{2} \frac{|\delta|}{\sigma_\delta}} d\delta - 3 = 3. \quad (1.113)$$

Таким образом, по сравнению с нормальным распределением ($E_x = 0$) равномерное распределение является более плосковершинным ($E_x = -1,2$), а распределение Лапласа – более островершинным ($E_x = 3$).

1.3.5. Точечные оценки истинного значения и среднее квадратическое отклонения

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

Эта задача является частным случаем статистической задачи нахождения оценок параметров функции распределения случайной величины на основании выборки – ряда значений, принимаемых этой величиной в n независимых опытах. Оцениваемыми параметрами являются математическое ожидание и среднее квадратическое отклонение, поскольку только они входят в выражение для дифференциальных функций всех трех рассмотренных выше распределений. В уравнениях (1.102) и (1.111) для нормального распределе-

ния и распределения Лапласа эти параметры входят явно, а в уравнения (1.100) и (1.101) для равномерного распределения – не явно, поскольку

$$a = \sigma_{\delta} \sqrt{3}, \quad b = m_{\bar{x}} + a = m_{\bar{x}} + \sigma_{\bar{x}} \sqrt{3}, \quad a = m_{\bar{x}} - a = m_{\bar{x}} - \sigma_{\bar{x}} \sqrt{3}. \quad (1.114)$$

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

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

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

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

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

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

Существует несколько методов определения оценок. Наиболее распространен метод максимального правдоподобия, теоретически обоснованный математиком Р. Фишером. Идея метода заключается в следующем. Вся получаемая в результате многократных наблюдений информация об истинном значении измеряемой величины и рассеивании результатов сосредоточена в ряде наблюдений X_1, X_2, \dots, X_n , где n – число наблюдений. Их можно рассматривать как n независимых случайных величин с одной и той же дифференциальной функцией распределения $p_{\bar{x}}(x, Q, \sigma_x)$. Вероятность P_i получения в эксперименте некоторого результата X_i , лежащего в интервале $x_i \pm \Delta x$, где Δx – некоторая малая величина, равна соответствующему элементу вероятности $P_i = p_{\bar{x}}(x_i, Q, \sigma_x) \Delta x$.

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

$$P(X_1, X_2, \dots, X_n) = \prod_{i=1}^n p_i = \Delta x^n \prod_{i=1}^n p_x(x_i, Q, \sigma_x). \quad (1.115)$$

Если рассматривать Q и σ_x как неизвестные параметры распределения, то, подставляя различные значения Q и σ_x в эту формулу, мы будем получать различные значения вероятности $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ при каждом фиксированном ряде наблюдений X_1, X_2, \dots, X_n . При некоторых значениях $Q = \hat{Q}(X_1, X_2, \dots, X_n)$ и $\sigma = \hat{\sigma}(X_1, X_2, \dots, X_n)$ вероятность получения экспериментальных данных $P(X_1, X_2, \dots, X_n)$ достигает наибольшего значения. В соответствии с методом максимального правдоподобия именно эти значения и принимаются в качестве точечных оценок истинного значения и среднеквадратического отклонения результатов наблюдений.

Таким образом, метод максимального правдоподобия сводится к отысканию таких оценок \hat{Q} и $\hat{\sigma}$, при которых функция правдоподобия

$$g(X_1, X_2, \dots, X_n, Q, \sigma_x) = \prod_{i=1}^n p_x(x_i, Q, \sigma_x) \quad (1.116)$$

достигает наибольшего значения. Постоянный множитель Δx^n не оказывает влияния на решение и поэтому может быть отброшен. Полученные оценки \hat{Q} и $\hat{\sigma}$ истинного значения и среднеквадратического отклонения называются оценками максимального правдоподобия.

Для упрощения вычислений иногда бывает удобнее пользоваться логарифмической функцией правдоподобия

$$L(X_1, X_2, \dots, X_n) = \lg, \quad g = \sum_{i=1}^n \ln p_x(x_i, Q, \sigma_x). \quad (1.117)$$

Если наибольшее значение функции правдоподобия совпадает с максимальным значением, то оценки получаются из системы уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{dg}{dQ} \right)_{Q=\hat{Q}, \sigma_{\bar{X}}=\hat{\sigma}_{\bar{X}}} &= 0, \\ \left(\frac{dg}{d\sigma_{\bar{X}}} \right)_{Q=\hat{Q}, \sigma_{\bar{X}}=\hat{\sigma}_{\bar{X}}} &= 0, \end{aligned} \right. \quad \text{или} \quad \left\{ \begin{aligned} \left(\frac{dL}{dQ} \right)_{Q=\hat{Q}, \sigma_{\bar{X}}=\hat{\sigma}_{\bar{X}}} &= 0, \\ \left(\frac{dL}{d\sigma_{\bar{X}}} \right)_{Q=\hat{Q}, \sigma_{\bar{X}}=\hat{\sigma}_{\bar{X}}} &= 0. \end{aligned} \right. \quad (1.118)$$

В противном случае необходимо более подробное исследование функции правдоподобия.

Далее определим оценки максимального правдоподобия для трех распределений случайных погрешностей.

Результаты наблюдений распределены нормально. В этом случае

$$p_{\bar{X}}(x_i, Q, \sigma_x) = \frac{1}{\sigma_{\bar{X}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x_i - Q)^2}{2\sigma_x^2}}, \quad (1.119)$$

а логарифмическая функция правдоподобия в соответствии с (1.117)

$$\begin{aligned} L(X_1, X_2, \dots, X_n, Q, \sigma_{\bar{X}}) &= \sum_{i=1}^n \ln p_x(x_i, Q, \sigma_x) = \\ &= \sum_{i=1}^n \left[-\frac{X_i - Q}{2\sigma_x^2} - \ln \sigma_x - \frac{1}{2} \ln(2\pi) \right] = \\ &= -\frac{1}{2\sigma_x^2} \sum_{i=1}^n (X_i - Q)^2 - n \ln \sigma_{\bar{X}} - \frac{n}{2} \ln(2\pi). \end{aligned} \quad (1.120)$$

Система уравнений (1.118) приводится к виду

$$\left\{ \begin{aligned} \left(\frac{dL}{dQ} \right)_{Q=\hat{Q}, \sigma_{\bar{X}}=\hat{\sigma}_{\bar{X}}} &= \frac{1}{\hat{\sigma}_{\bar{X}}^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{Q})^2 - \frac{n}{\hat{\sigma}_{\bar{X}}} = 0; \\ \left(\frac{dL}{d\sigma_{\bar{X}}} \right)_{Q=\hat{Q}, \sigma_{\bar{X}}=\hat{\sigma}_{\bar{X}}} &= \frac{1}{\hat{\sigma}_{\bar{X}}^3} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{Q})^2 - \frac{n}{\hat{\sigma}_{\bar{X}}} = 0. \end{aligned} \right. \quad (1.121)$$

Из первого уравнения получаем выражение для оценки истинного значения \hat{Q} , а из второго – оценку среднеквадратического отклонения $\hat{\sigma}_{\bar{X}}^2$:

$$\hat{Q} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i, \quad \hat{\sigma}_{\bar{X}}^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \hat{Q})^2. \quad (1.122)$$

Таким образом, при нормальном распределении случайных погрешностей оценкой максимального правдоподобия для истинного значения является среднее арифметическое из результатов отдельных наблюдений, а оценкой дисперсии – среднее из квадратов отклонений результатов наблюдений от среднего арифметического.

Результаты наблюдений распределены по закону Лапласа:

$$p_{\bar{X}}(x_i, Q, \sigma_x) = \frac{1}{\sigma_{\bar{X}} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{|x_i - Q|}{\sigma_{\bar{X}}} \sqrt{2}}. \quad (1.123)$$

Логарифмическая функция правдоподобия не является дифференцируемой по Q , поэтому приходится прибегать к численным методам. Функция правдоподобия достигает наибольшего значения, когда выражение $Y = \sum_{i=1}^n |x_i - Q|$ принимает наименьшее значение. Поэтому задача отыскания оценки истинного значения сводится к определению такого значения $Q = \hat{Q}(X_1, X_2, \dots, X_n)$, сумма модулей отклонений результатов наблюдений от которого является наименьшей. Задача решается методом последовательных приближений, причем в качестве первого приближения можно принять среднее арифметическое из полученных результатов.

В условиях равномерного распределения погрешностей

$$p_{\bar{X}}(x_i, Q, \sigma_x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a}, & a \leq x \leq b, \\ 0, & x < a, \quad x > b, \end{cases} \quad (1.124)$$

причем $a = Q - \sigma_{\bar{X}} \sqrt{3}$ и $b = Q + \sigma_{\bar{X}} \sqrt{3}$.

Решение задачи нахождения оценки максимального правдоподобия для равномерного распределения погрешностей проводим численными методами, в результате чего получаем:

$$\hat{Q} = \frac{\hat{a} + \hat{b}}{2} = \frac{1}{2}(X_1^* + X_n^*), \quad \sigma_{\bar{X}} = \frac{\hat{b} - \hat{a}}{2\sqrt{3}} = \frac{X_n^* - X_1^*}{2\sqrt{3}}. \quad (1.125)$$

Основное достоинство оценок максимального правдоподобия в том, что они являются асимптотически (при $n \rightarrow \infty$) несмещенными; асимптотически эффективными и асимптотически нормально распределенными.

Если \hat{a} – оценка максимального правдоподобия для параметра a , то при достаточно большом числе n наблюдений (практически уже при $n > 20-25$) эту оценку можно считать нормально распределенной с математическим ожиданием $M[\hat{a}] = a$ и дисперсией $D[\hat{a}] = \left(M \left[\frac{-\partial^2 L}{\partial a^2} \right] \right)^{-1}$ при любом распределении результатов наблюдений.

Для наиболее часто встречающегося на практике нормального распределения случайных погрешностей оценки максимального правдоподобия имеются особые обозначения.

Оценкой истинного значения является среднее арифметическое \bar{X} из результатов отдельных наблюдений X_i :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i. \quad (1.126)$$

Вторая производная от логарифмической функции преобразования равна $\frac{\partial^2 L}{\partial Q^2} = -\frac{n}{\sigma_{\bar{X}}^2}$, поэтому дисперсия среднего арифметического в n раз меньше дисперсии $\sigma_{\bar{X}}^2$ результатов наблюдений, т. е.

$$\sigma_{\bar{X}}^2 = \frac{\sigma_{\bar{X}}^2}{n}, \quad \sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_{\bar{X}}}{\sqrt{n}}. \quad (1.127)$$

Оценка дисперсии результатов наблюдений при малом n является немногочисленной, поэтому точечную оценку дисперсии принято определять как

$$s_{\bar{X}}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2, \quad (1.128)$$

а оценку среднеквадратического отклонения результатов наблюдений как

$$s_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}. \quad (1.129)$$

Дисперсия оценки $s_{\bar{X}}$ среднеквадратического отклонения составляет:

$$D[s_{\bar{X}}] = \left\{ M \left[-\frac{\partial^2 L}{\partial \sigma_{\bar{X}}^2} \right] \right\}^{-1} = \frac{s_{\bar{X}}^2}{2n}, \quad \hat{\sigma}[s_{\bar{X}}] = \frac{s_{\bar{X}}}{\sqrt{2n}}. \quad (1.130)$$

Последнее соотношение показывает, что относительная погрешность определения среднеквадратического отклонения (%) по результатам обработки ряда наблюдений достаточно велика:

$$\frac{\hat{\sigma}[s_{\bar{X}}]}{s_{\bar{X}}} \cdot 100 = \frac{100}{\sqrt{2n}}, \quad (1.131)$$

и даже при $n = 50$ достигает 10 %. Для надежного суждения о точности эту погрешность следует увеличить еще минимум в два раза.

С помощью полученных оценок итог измерений можно записать в виде

$$Q = \bar{X}, s_{\bar{X}} = \quad, n = \quad, \quad (1.132)$$

что уже позволяет сделать некоторые выводы относительно точности проведенных измерений.

Наряду с методом максимального правдоподобия при определении точечных оценок широко используется метод наименьших квадратов. В соответствии с этим методом среди некоторого класса оценок выбирают ту, которая обладает наименьшей дисперсией, т. е. наиболее эффективную оценку. Легко заметить, что среди всех линейных оценок истинного значения вида

$$\hat{Q} = \sum_{i=1}^n \alpha_i X_i, \quad \text{где } \alpha_i - \text{некоторые постоянные, именно среднее арифметическое}$$

\bar{X} обращает в минимум дисперсию $\sigma_{\bar{X}}^2$. Поэтому для случая нормально распределенных случайных погрешностей оценки, получаемые методом наименьших квадратов, совпадают с оценками максимального правдоподобия.

1.3.6. Оценка с помощью интервалов

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

Вначале остановимся на определении доверительного интервала для среднего арифметического значения измеряемой величины. Предположим, что распределение результатов наблюдений нормально и известна дисперсия $\sigma_{\bar{X}}^2$. Найдем вероятность попадания результата наблюдений в интервал $(m_{\bar{X}} - t_{p\sigma_{\bar{X}}}, m_{\bar{X}} + t_{p\sigma_{\bar{X}}})$. Согласно формуле (1.110)

$$P(m_{\bar{X}} - t_{p\sigma_{\bar{X}}} < X \leq m_{\bar{X}} + t_{p\sigma_{\bar{X}}}) = \Phi(t_p) - \Phi(-t_p) = 2\Phi(t_p) - 1, \quad (1.133)$$

но

$$P(m_{\bar{X}} - t_{p\sigma_{\bar{X}}} < X \leq m_{\bar{X}} + t_{p\sigma_{\bar{X}}}) = P(X - t_{p\sigma_{\bar{X}}} \leq m_{\bar{X}} < X + t_{p\sigma_{\bar{X}}}) \quad (1.134)$$

и, если систематические погрешности исключены ($m_{\bar{X}} = Q$), то

$$P(X - t_{p\sigma_X} Q \leq X + t_{p\sigma_X}) = 2\Phi(t_p) - 1. \quad (1.135)$$

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

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

$$P = 2\Phi(t_p) - 1, \quad (1.136)$$

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

определяют соответствующее значение $\Phi(t_p)$ нормированной функции Лапласа. Затем по данным табл. 1.4 находят значение коэффициента t_p и вычисляют доверительное отклонение $t_{p\sigma x}$. Проведение многократных наблюдений позволяет значительно сократить доверительный интервал. Действительно, если результаты наблюдений X_i ($i = 1, 2, \dots, n$) распределены нормально, то нормально распределены и величины X_i/n , а значит, и среднее арифметическое \bar{X} , являющееся их суммой. Поэтому имеет место равенство

$$\begin{aligned} P(\bar{X} - t_{p\sigma x} \leq Q \leq \bar{X} + t_{p\sigma x}) = \\ = P(\bar{X} - t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \leq Q \leq \bar{X} + t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}) = 2\Phi(t_p) - 1, \end{aligned} \quad (1.137)$$

где t_p определяется по заданной доверительной вероятности P .

Таблица 1.4

Значения нормированной функции Лапласа $\Phi(t_p) = \int_0^t e^{-t^2/2} dt$

t_p	$\Phi(t_p)$	t_p	$\Phi(t_p)$	t_p	$\Phi(t_p)$
0,0	0,00000	1,4	41924	2,8	49744
0,1	03983	1,5	43319	2,9	49813
0,2	07926	1,6	44520	3,0	0,49865
0,3	11791	1,7	45543	3,1	0,49903
0,4	15542	1,8	46407	3,2	0,49931
0,5	19146	1,9	47128	3,3	0,49952
0,6	22575	2,0	47725	3,4	0,49966
0,7	25804	2,1	48214	3,5	0,49977
0,8	28814	2,2	48610	3,6	0,49984
0,9	31594	2,3	48928	3,7	0,49989
1,0	34134	2,4	49180	3,8	0,49993
1,1	36433	2,5	49379	3,9	0,49995
1,2	33493	2,6	49534	4,0	0,499968
1,3	40320	2,7	49653	4,5	0,499999

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

Половина длины нового доверительного интервала

$$\delta_p = t_p \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (1.138)$$

называется доверительной границей погрешности результата измерений, а итог измерений записывается в виде

$$Q = \bar{X} \pm \delta_p. \quad (1.139)$$

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

$$t = \frac{\bar{X} - M[X]}{S_{\bar{X}}} = \frac{\bar{X} - Q}{S_{\bar{X}}} = \sqrt{n} \cdot \frac{\bar{X} - Q}{S_{\bar{X}}}, \quad (1.140)$$

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

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

$$S(t, k) = \frac{\left(\frac{k+1}{2}\right)!}{\sqrt{\pi k} \left(\frac{k}{2}\right)!} \left(1 + \frac{t^2}{k}\right)^{-\frac{k+1}{2}}, \quad (1.141)$$

где $S(t, k)$ – плотность распределения Стьюдента. Величина k называется числом степеней свободы и равна $n - 1$. Вероятность того, что дробь Стьюдента в результате выполненных наблюдений примет некоторое значение в интервале $(-t_p, +t_p)$, согласно выражению (1.73), вычисляется по формуле

$$P(-t_p < t \leq t_p) = \int_{-t_p}^{+t_p} S(t, k) dt, \quad (1.142)$$

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

$$P(-t_p < t \leq t_p) = 2 \int_0^{t_p} S(t, k) dt. \quad (1.143)$$

Подставив вместо дроби Стюдента t ее выражение через \bar{X} , Q и $S_{\bar{X}}$, получим окончательно:

$$P\left(-t_p < \frac{\bar{X} - Q}{S_{\bar{X}}} \leq t_p\right) = P(|\bar{X} - Q| < t_p S_{\bar{X}}) = 2 \int_0^{t_p} S(t, k) dt. \quad (1.144)$$

Величины t_p , вычисленные по формулам (1.141) и (1.144), были табулированы Фишером для различных значений доверительной вероятности P в пределах 0,10–0,99 при $k = n - 1 = 1, 2, \dots, 30$. В справочниках часто приводятся значения t_p для наиболее часто употребляемых доверительных вероятностей P .

Таким образом, с помощью распределения Стюдента по формуле (1.144) может быть найдена вероятность того, что отклонение среднего арифметического от истинного значения измеряемой величины не превышает $\delta_p = t_p S_{\bar{X}}$, например, $2S_{\bar{X}}$, $3S_{\bar{X}}$ и т. д. Итог измерений записывается в виде

$$Q = \bar{X} \pm \delta_p. \quad (1.145)$$

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

$$P(|\bar{X} - Q| < t_p S_{\bar{X}}) = 2\Phi(t_p) - 1, \quad (1.146)$$

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

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

Кроме того, на основании центральной предельной теоремы теории вероятностей можно утверждать, что при достаточно большом числе наблюдений распределение среднего арифметического как суммы случайных величин X_i/n будет сколь угодно близким к нормальному. Тогда, заменяя дисперсию $\sigma_{\bar{X}}^2$ ее точечной оценкой, можно для оценки доверительной границы погреш-

ности результата воспользоваться равенством (1.136). Число наблюдений n , при котором это становится возможным, зависит, конечно, от распределения случайных погрешностей.

Соотношения (1.139) показывают, что итог измерения не есть одно определенное число. В результате измерений мы получаем лишь полосу значений измеряемой величины. Смысл итога измерений, например $L = 20,00 \pm 0,05$, заключается не в том, что $L = 20,00$, как для простоты считают, а в том, что истинное значение лежит где-то в границах от 19,95 до 20,05. К тому же нахождение внутри границ имеет некоторую вероятность, меньшую, чем единица, и, следовательно, нахождение вне границ не исключено, хотя и может быть очень маловероятным.

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

Если распределение результатов наблюдений нормально, то отношение

$$\chi_k^2 = \chi_{n-1}^2 = \frac{(n-1)s_X^2}{\sigma_X^2} \quad (1.147)$$

имеет так называемое χ^2 -распределение Пирсона с $k = n - 1$ степенями свободы. Его дифференциальная функция распределения описывается формулой

$$p_{\chi_k^2}(\xi) = \frac{1}{\left(\frac{k}{2} - 1\right)! \cdot 2^{0,5k}} (\xi)^{0,5k-1} e^{-0,5\xi}. \quad (1.148)$$

Кривые плотности χ^2 -распределения при различных значениях k , вычисленные по формуле (1.148), представлены на рис. 1.7.

Значения χ_{kp}^2 , соответствующие различным вероятностям P того, что отношение (1.147) в данном опыте будет меньше χ_{kp}^2 , приводятся в справочниках.

Пользуясь справочниками, можно найти доверительный интервал для оценки дисперсии результатов наблюдений при заданной доверительной вероятности. Этот интервал строится таким образом, чтобы вероятность выхода дисперсии за его границы не превышала некоторой малой величины q , причем вероятности выхода за обе границы интервала были бы равны между собой и составляли соответственно $q/2$ (рис. 1.8).

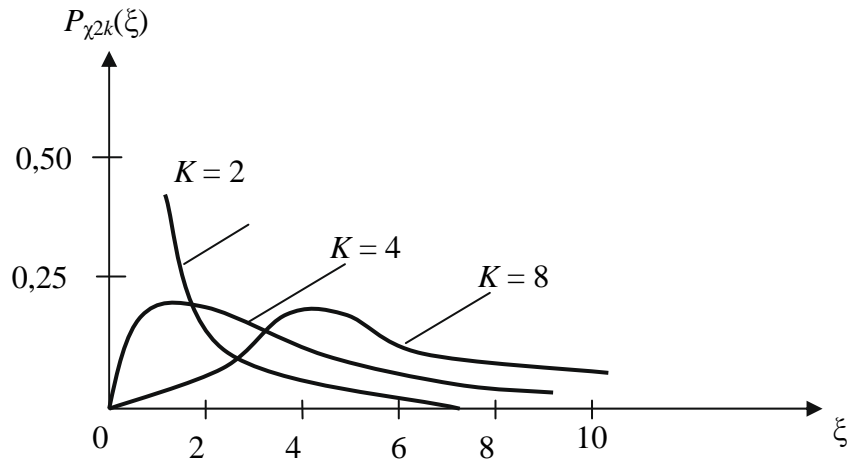


Рис. 1.7. Дифференциальные функции распределения Пирсона

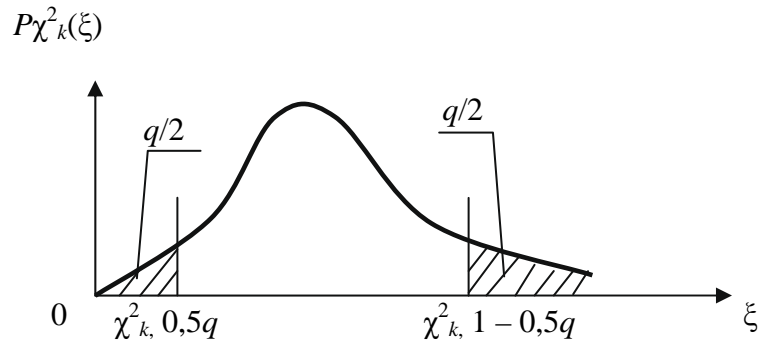


Рис. 1.8. График доверительного интервала для оценки дисперсии

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

$$F(\chi^2_{k, 0.5q}) = 0.5q, \quad F(\chi^2_{k, 1-0.5q}) = 1 - 0.5q. \quad (1.149)$$

Теперь, зная границы доверительного интервала для отношения χ^2_{kp} , запишем доверительный интервал для дисперсии:

$$\begin{aligned} P\left(\chi^2_{k, 0.5q} < \frac{(n-1)s_X^2}{\sigma_X^2} < \chi^2_{k, 1-0.5q}\right) &= \\ = P\left(\frac{\sqrt{n-1}s_X}{\chi^2_{k, 0.5q}} > \sigma_X > \frac{\sqrt{n-1}s_X}{\chi^2_{k, 1-0.5q}}\right) &= 1 - q. \end{aligned} \quad (1.150)$$

Полученное равенство означает, что с вероятностью $\alpha = 1 - q$ истинное значение $\sigma_{\bar{x}}$ среднеквадратического отклонения результатов наблюдений лежит в интервале $(S_{\bar{x}1}, S_{\bar{x}2})$, границы которого равны

$$s_{x_1} = \frac{\sqrt{n-1}s_x}{\chi_{k,0,5q}^2}, \quad s_{x_2} = \frac{\sqrt{n-1}s_x}{\chi_{k,1-0,5q}^2}. \quad (1.151)$$

В справочниках обычно приводят значения χ_k^2 только при числах степеней свободы от 1 до 30. При $k > 30$ можно пользоваться приближенной формулой

$$\chi_{kp} = \sqrt{k-0,5} + \frac{1}{\sqrt{2}}t_p, \quad (1.152)$$

где t_p определяется из условия $\Phi(t_p) = P$.

Тогда границы доверительного интервала для среднеквадратического отклонения результатов наблюдений при доверительной вероятности $\alpha = 1 - q$ вычисляют по формулам (1.151) при значениях χ_k , равных

$$\begin{aligned} \chi_{k,0,5q}^2 &= \sqrt{k-0,5} + \frac{1}{\sqrt{2}}t_{0,5q}, \\ \chi_{k,1-0,5q}^2 &= \sqrt{k-0,5} + \frac{1}{\sqrt{2}}t_{1-0,5q}. \end{aligned} \quad (1.153)$$

1.3.7. Проверка нормальности распределения результатов наблюдений

В предыдущих параграфах было показано, что результаты наблюдений можно оценить наиболее полно, если их распределение является нормальным. Поэтому исключительно важную роль при обработке результатов наблюдений играет проверка нормальности распределения.

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

При большом числе результатов наблюдений ($n > 40$) данную задачу решают следующим образом.

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

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

Отношения

$$P_i^* = \frac{m_i}{n}, \quad (1.154)$$

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

Если теперь разделить частоту на длину интервала, то получим величины

$$p_i^* = \frac{1}{\Delta X_i} P_i^* = \frac{m_i}{n \Delta X_i}, \quad (1.155)$$

являющиеся оценками средней плотности распределения в интервале ΔX_i .

Отложим вдоль оси результатов наблюдений (рис. 1.9) интервалы ΔX_i в порядке возрастания индекса i и на каждом интервале построим прямоугольник с высотой, равной p_i^* . Полученный график называется гистограммой статистического распределения.

Площадь суммы всех прямоугольников равна единице:

$$\sum_{i=1}^r p_i^* \Delta X_i = \sum_{i=1}^r \frac{m_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^r m_i = 1. \quad (1.156)$$

При увеличении числа наблюдений число интервалов можно увеличить. Сами интервалы уменьшаются, и гистограмма все больше приближается к плавной кривой, ограничивающей единичную площадь, – к графику плотности распределения результатов наблюдений.

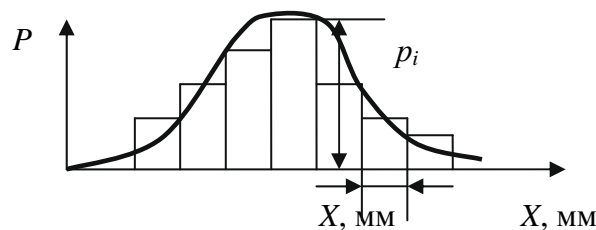


Рис. 1.9. Гистограмма статистического распределения

При построении гистограмм рекомендуется пользоваться следующими правилами.

Число интервалов выбирать в зависимости от числа наблюдений согласно рекомендациям табл. 1.3.

Таблица 1.3

Зависимость числа интервалов от числа наблюдений

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

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

Масштабы по осям гистограммы должны быть такими, чтобы отношение ее высоты к основанию составляло примерно 5:8.

После построения гистограммы надо подобрать теоретическую плавную кривую распределения, которая, выражая все существенные черты статистического распределения, сглаживала бы все случайности, связанные с недостаточным объемом экспериментальных данных. Принципиальный вид теоретической кривой выбирают заранее, проанализировав метод измерения или хотя бы внешний вид гистограммы. Тогда определение аналитического вида кривой распределения сводится к выбору таких значений его параметров, при которых достигается наибольшее соответствие между теоретическим и статистическим распределением. Одним из методов решения этой задачи является метод моментов. При его использовании параметрам теоретического распределения придают такие значения, при которых несколько важнейших моментов совпадают с их статистическими оценками.

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

Для ответа на этот вопрос используют методы проверки статистических гипотез. Идея их применения заключается в следующем. На основании гисто-

граммы, полученной при обработке опытных данных, строится гипотеза, состоящая в том, что результаты наблюдений подчиняются распределению $F_X(x)$ с плотностью $P_X(x)$.

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

$$U = \sum_{i=1}^r c_i (P_i^* - P_i)^2, \quad (1.157)$$

где c_i – коэффициенты, называемые весами разрядов; P_i – теоретические вероятности, определяемые как

$$P_i = \int_{X_i}^{X_{i+1}} p_X(x) dx. \quad (1.158)$$

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

Мера расхождения U является случайной величиной и независимо от исходного распределения подчиняется χ^2 -распределению с k степенями свободы (см. формулу (1.148)). Если значения всех частот $m_i > 5$, число измерений стремится к бесконечности, а веса c_i выбирают равными n/P_i . Число степеней свободы распределения $k = r - s$, где r – число разрядов гистограммы статистического распределения, а s – число независимых связей, наложенных на частоты P_i^* .

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

По справочнику можно при заданной доверительной вероятности $\alpha = 1 - q$ найти тот доверительный интервал $(\chi_{k, 0,5q}^2, \chi_{k, 1-0,5q}^2)$ значений χ_k^2 , в который мера расхождения может попасть по чисто случайным причинам.

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

Поскольку проверка гипотезы основывается на опытных данных, то при принятии решения всегда возможны ошибки. Отвергая в действительности верную гипотезу, мы совершаем ошибку первого рода. Вероятность ошибки первого рода называется уровнем значимости и составляет $q = 1 - \alpha$. Принимая в действительности неверную гипотезу, мы совершаем ошибку второго рода. Вычислить ее вероятность, вообще говоря, невозможно, поскольку для этого нужно рассмотреть все прочие возможные гипотезы, являющиеся альтернативой обсуждаемой гипотезы. Можно лишь утверждать, что при уменьшении ошибки первого рода ошибка второго рода увеличивается, поэтому не имеет смысла брать слишком высокие значения доверительных вероятностей.

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

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

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

Для каждого интервала находят вероятности попадания в них результатов наблюдений либо по общей формуле (1.109), либо приближенно как произведение плотности теоретического распределения в середине интервала на его длину:

$$P_i \approx p_X \left(\frac{X_i + X_{i+1}}{2} \right) \Delta X_i. \quad (1.159)$$

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

Определяют число степеней свободы $k = r - 3$ и, задаваясь уровнем значимости $q = 1 - \alpha$, находят по справочнику значения $\chi_{k, 0,5q}^2$. Если $\chi_{k, 0,5q}^2 < \chi_k^2 < \chi_{k, 1-0,5q}^2$, то распределение результатов наблюдений считают нормальным.

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

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

Первый критерий основан на вычислении статистики

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - \bar{X}|}{\sqrt{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}}. \quad (1.160)$$

Гипотеза о нормальности распределения на основании первого критерия принимается, если при данном числе наблюдений и выбранном уровне значимости q_1 соблюдается условие

$$d_{1-0,5q_1} < d \leq d_{0,5q_1}, \quad (1.161)$$

где $d_{1-0,5q_1}$ и $d_{0,5q_1}$ – квантили, выбираемые из справочника.

На основании второго критерия гипотеза о нормальности распределения принимается, если не более m разностей $|X_i - \bar{X}|$ превосходят уровень $s_X z_{0,5(1+\alpha)}$, где s_X – оценка среднеквадратического отклонения результатов наблюдения; $z_{0,5(1+\alpha)}$ – квантиль интегральной функции нормированного нормального распределения, определяемый по данным справочников приложения при значении

$$\Phi(z_{0,5(1+\alpha)}) = 0,5(1 + \alpha). \quad (1.162)$$

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

Распределение результатов наблюдения считается отличным от нормального, если оно не соответствует хотя бы одному из этих двух критериев. Уровень значимости составного критерия

$$q \leq q_1 + q_2. \quad (1.163)$$

При малом числе наблюдений для оценки нормальности можно воспользоваться понятием статистической функции распределения результатов наблюдений. Для ее построения полученные в процессе эксперимента результаты группируют в так называемый вариационный ряд $X_{(1)}^*, X_{(2)}^*, \dots, X_{(n)}^*$, члены которого располагаются в порядке их возрастания, так что всегда $X_{(1)}^* \leq X_{(2)}^* \leq \dots \leq X_{(n)}^*$. Статистическую функцию распределения $F_n(x_k)$ определяют по формуле

$$F_n(x_k) = \frac{k}{n+1}, \quad k = 1, 2, \dots, n. \quad (1.164)$$

$F_n(x_k)$ представляет собой ступенчатую линию, скачки которой соответствуют значениям членов вариационного ряда. Каждый скачок равен $\frac{1}{n+1}$, если все n членов ряда различны. Если же для некоторого k $X_{(k)} = X_{(k+1)} = \dots = X_{(k+i)}$, то $F_n(x)$ в точке $x = X_k$ возрастает на $\frac{i}{n+1}$, где i – число равных между собой членов ряда.

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

Для проверки нормальности распределения результатов наблюдений по табл. П.3 приложения находят значения z_k , соответствующие полученным значениям $F_n(x_k)$ статистической функции распределения $\Phi(z_k) = F_n(x_k)$. Но переменная Z определяется через результаты наблюдений как

$$z_k = \frac{X_k - m_X}{\sigma_X}, \quad (1.165)$$

и если в координатах z, x нанести точки z_k, x_k , то при нормальном распределении они должны расположиться вдоль одной прямой линии. Если же в результате такого построения получится некоторая кривая линия, то гипотезу о нормальности распределения придется отвергнуть как противоречащую опытным данным.

1.3.8. Классификация систематических погрешностей

Систематической погрешностью называется составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же величины [6]. При этом предполагается, что систематические погрешности представляют собой определенную функцию случайных факторов, состав которых зависит от физических, конструктивных и технологических особенностей средств измерений, условий их применения, а также индивидуальных качеств наблюдателя. Сложные детерминированные закономерности, которым подчиняются систематические погрешности, определяют либо при создании средств измерений и комплектации измерительной аппаратуры, либо непосредственно при подготовке измерительного эксперимента и в процессе его проведения. Совершенствование методов измерения, использование высококачественных материалов, прогрессивная технология – все это позволяет на практике устранить систематические погрешности настолько, что при обработке результатов наблюдений с их наличием зачастую не приходится считаться.

В предыдущих разделах было показано, что единственно правильным методом анализа случайных погрешностей является математическая статистика. Случайные погрешности измерения изучались только в совокупности, без рассмотрения их фактических значений в каждом опыте. Систематические погрешности приходится изучать в каждом случае отдельно. Их принято классифицировать в зависимости от причин возникновения и по характеру проявления при измерениях.

В зависимости от причин возникновения рассматривают четыре вида систематических погрешностей.

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

Погрешности метода возникают также при экстраполяции свойства, измеренного на ограниченной части некоторого объекта, на весь объект, если

последний не обладает однородностью измеряемого свойства. Так, считая диаметр цилиндрического вала равным результату, полученному при измерении в одном сечении и в одном направлении, мы допускаем систематическую погрешность, полностью определяемую отклонениями формы исследуемого вала. При определении плотности вещества по измерениям массы и объема некоторой пробы возникает систематическая погрешность, если проба содержала некоторое количество примесей, а результат измерения принимается за характеристику данного вещества вообще.

К погрешностям метода следует отнести также те погрешности, которые возникают вследствие влияния измерительной аппаратуры на измеряемые свойства объекта. Подобные явления возникают, например, при измерении длин, когда измерительное усилие используемых приборов достаточно велико, при регистрации быстропротекающих процессов недостаточно быстродействующей аппаратурой, при измерениях температур жидкостными или газовыми термометрами и т. д.

Инструментальные погрешности, зависящие от погрешностей применяемых средств измерений. Среди инструментальных погрешностей в отдельную группу выделяют погрешности схемы, не связанные с неточностью изготовления средств измерения и обязанные своим происхождением самой структурной схеме средств измерений. Исследование инструментальных погрешностей является предметом специальной дисциплины – теории точности измерительных устройств.

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

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

По характеру поведения в процессе измерения систематические погрешности подразделяют на постоянные и переменные.

Постоянные систематические погрешности возникают, например, при неправильной установке начала отсчета, неправильной градуировке и юсти-

ровке средств измерения и остаются постоянными при всех повторных наблюдениях. Поэтому, если уж они возникли, их очень трудно обнаружить в результатах наблюдений.

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

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

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

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

В тех случаях, когда при создании средств измерений, необходимых для данной измерительной установки, не удастся устранить влияние систематических погрешностей, приходится специально организовывать измерительный процесс и осуществлять математическую обработку результатов. Методы борьбы с систематическими погрешностями заключаются в их обнаружении и последующем исключении путем полной или частичной компенсации. Основные трудности, часто непреодолимые, состоят именно в обнаружении систематических погрешностей, поэтому иногда приходится довольствоваться приближенным их анализом.

1.3.9. Способы обнаружения систематических погрешностей

Результаты наблюдений, полученные при наличии систематических погрешностей, будем называть неисправленными и в отличие от исправленных снабжать штрихами при обозначении (например, X_1' , X_2' и т. д.). Вычисленные в этих условиях средние арифметические значения и отклонения от результатов наблюдений будем также называть неисправленными и ставить штрихи у символов этих величин. Таким образом,

$$\bar{X}' = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i', \quad v_i' = X_i' - \bar{X}'. \quad (1.166)$$

Поскольку неисправленные результаты наблюдений включают в себя систематические погрешности, сумму которых для каждого i -го наблюдения

будем обозначать через θ_i , то их математическое ожидание не совпадает с истинным значением измеряемой величины и отличается от него на некоторую величину θ , называемую систематической погрешностью неисправленного среднего арифметического. Действительно,

$$\begin{aligned} M[\bar{X}'] &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X_i'] = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X_i + \theta_i] = \\ &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[X_i] + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M[\theta_i] = Q + \theta, \end{aligned} \quad (1.167)$$

$$\theta = M[\bar{X}'] - Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \theta_i. \quad (1.168)$$

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

$$q = -\theta_i. \quad (1.169)$$

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

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

тестации меры и случайными погрешностями измерения, равна искомой систематической погрешности.

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

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

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

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

При прогрессивной систематической погрешности последовательность неисправленных отклонений результатов наблюдений обнаруживает тенденцию к возрастанию или убыванию. На рис. 1.10 изображена зависимость погрешности измерения от длины измеряемой детали.

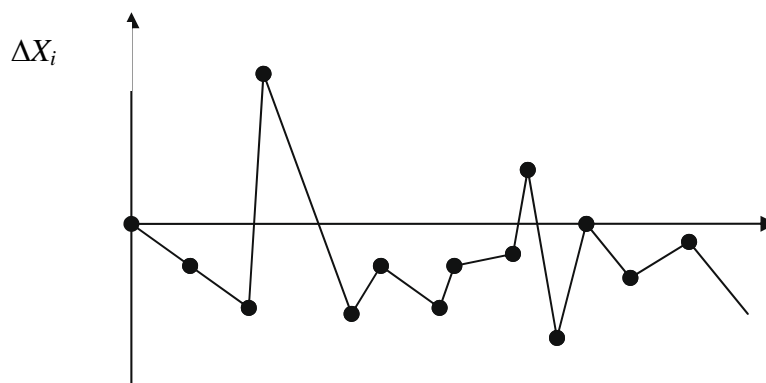


Рис. 1.10. Зависимость погрешности измерения от длины измеряемой детали

Несмотря на большие случайные изменения погрешности, тенденция к увеличению ее в отрицательном направлении с ростом измеряемой величины явно обнаруживается. Если бы случайные погрешности были невелики, то значения неисправленных отклонений меняли бы свой знак при некотором среднем значении измеряемой величины. Случайные погрешности несколько искажают эту картину, однако, если они даже одного порядка малости с систематическими погрешностями, в последовательности знаков можно заметить некоторую неравномерность: неисправленные отклонения результатов одного знака чаще встречаются в отрицательной полуплоскости, чем в положительной.

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

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

1.3.10. Введение поправок.

Неисключенная систематическая погрешность

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

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

$$X_i = X'_i + q, \quad (1.170)$$

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

Поправки могут задаваться также в виде формул, по которым они вычисляются для каждого конкретного случая. Например, при измерениях и проверках с помощью образцовых манометров следует вводить поправки к их показаниям на местное значение ускорения свободного падения:

$$q = \Delta P = P \left(\frac{g}{9,8066} - 1 \right), \quad (1.171)$$

где P – измеряемое давление.

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

Действительно, при исправлении неисправленного результата X_i' путем введения поправок $q_j \pm s_j$, $j = 1, 2, \dots, m$ по формуле

$$X_i = X_i' + \sum_{j=1}^m q_j, \quad (1.172)$$

дисперсия s_x^2 становится равной

$$s_x^2 = s_x'^2 + \sum_{j=1}^m s_j^2, \quad (1.173)$$

где $s_x'^2$ – оценка дисперсии неисправленных результатов; s_j^2 – оценка дисперсии j -й поправки.

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

$$q > 0,5 \frac{s_q^2}{s_x'^2}. \quad (1.174)$$

При малой дисперсии поправки на основании формулы (1.174) может показаться, что введение любой поправки повышает достоверность результата. Однако следует помнить, что погрешность результата выражается не более чем двумя значащими цифрами, поэтому поправка, если она меньше пяти единиц разряда, следующего за последним десятичным знаком погрешности результата, будет все равно потеряна при округлении и вводить ее не имеет смысла.

Систематическая погрешность, остающаяся после введения поправок на ее наиболее существенные составляющие, включает в себя ряд элементарных составляющих, называемых неисключенными остатками систематической погрешности. К их числу относятся:

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

Перечисленные погрешности малы и поправки на них не вводятся.

Для каждого данного измерения элементарные составляющие систематической погрешности имеют вполне определенные значения, но эти значения нам неизвестны. Известно лишь, что в массе однотипных измерений эти составляющие лежат в определенных границах $\pm\theta_{k_{\max}}$ или имеют определенные средние квадратические отклонения $s_{\theta_k}^2$. В первом случае для неисключенных остатков следует принять равномерное распределение, во втором – нормальное. Дисперсия суммы неисключенных остатков систематической погрешности определяется как сумма их дисперсий и поэтому

$$D[\theta] = s_{\theta}^2 = \frac{1}{3} \sum_{k=1}^{m_1} \theta_{k_{\max}}^2 + \sum_{k=1}^{m_2} s_{\theta_k}^2, \quad (1.175)$$

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

Вопросы для самопроверки

1. Случайная составляющая погрешности измерения.
2. Вероятностная модель случайной погрешности измерения.
3. Понятие законов распределения случайных погрешностей измерения.
4. Нормальный закон распределения и его числовые характеристики.
5. Понятие доверительного интервала и доверительной вероятности погрешности измерения.
6. Правила суммирования случайных составляющих погрешности.
7. Оценки характеристик распределения случайной погрешности на основе выборки.
8. Проверка нормальности распределения результатов наблюдений в выборке. Методы выявления грубых погрешностей и промахов.
9. Систематическая составляющая погрешности измерения.
10. Правила суммирования систематических составляющих погрешности.
11. Неисключенная составляющая систематической погрешности измерения. Доверительная граница неисключенной систематической погрешности результата измерения.

2. СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ. ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Общие методы измерений

Для точных измерений величин в метрологии разработаны приемы использования принципов и средств измерений, применение которых позволяет исключить из результатов измерений ряд систематических погрешностей и тем самым освобождает экспериментатора от необходимости определять многочисленные поправки для их компенсации, а в некоторых случаях вообще является предпосылкой получения сколько-нибудь достоверных результатов. Многие из этих приемов используют при измерении только определенных величин, однако существуют и некоторые общие приемы, названные методами измерения.

Наиболее просто реализуется *метод непосредственной оценки*, заключающийся в определении величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия, например взвешивание на циферблатных весах, определение размера детали с помощью микрометра или измерение давления пружинным манометром.

Измерения с помощью этого метода проводятся очень быстро, просто и не требуют высокой квалификации оператора, поскольку не нужно создавать специальные измерительные установки и выполнять какие-либо сложные вычисления. Однако точность измерений чаще всего оказывается невысокой из-за погрешностей, связанных с необходимостью градуировки шкал приборов и воздействием влияющих величин (непостоянство температуры, нестабильность источников питания и пр.).

При проведении наиболее точных измерений предпочтение отдается различным модификациям *метода сравнения с мерой*, при котором измеряемую величину находят сравнением с величиной, воспроизводимой мерой. Результат измерения либо вычисляют как сумму значения используемой для сравнения меры и показания измерительного прибора, либо принимают равным значению меры.

Метод сравнения с мерой, заключающийся в том, что измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на измерительный прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соот-

ношение между ними, называется *методом противопоставления*. Примером этого метода является взвешивание груза на равноплечих весах, когда измеряемая масса определяется как сумма массы гирь, ее уравнивающих. Применение метода противопоставления позволяет значительно уменьшить воздействие на результаты измерений влияющих величин, поскольку они более или менее одинаково искажают сигналы измерительной информации как в цепи преобразования измеряемой величины, так и в цепи преобразования величины, воспроизводимой мерой. Отсчетное устройство прибора сравнения реагирует на разность сигналов, вследствие чего эти искажения в некоторой степени компенсируют друг друга.

Разновидностью метода сравнения с мерой является также *нулевой метод измерения*, который состоит в том, что подбором размера воспроизводимой мерой величины или путем ее принудительного изменения эффект воздействия сравниваемых величин на прибор сравнения доводят до нуля. В этом случае компенсация воздействий влияющих величин оказывается более полной, а значение измеряемой величины принимается равным значению меры.

При *дифференциальном методе измерения* на измерительный прибор (не обязательно прибор сравнения) подается непосредственно разность измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Этот метод может быть использован, конечно, только в тех случаях, когда просто и точно реализуется операция вычитания величин (длины, перемещения, электрических напряжений). Дифференциальный метод не применяют при измерении таких величин, как температура или твердость тел.

К разновидностям метода сравнения с мерой относится и *метод замещения*, широко применяемый в практике точных метрологических исследований. Сущность метода в том, что измеряемая величина замещается в измерительной установке некоторой известной величиной, воспроизводимой мерой. Замещение может быть полным или неполным, в зависимости от чего говорят о методе полного или неполного замещения. При полном замещении показания не изменяются и результат измерения принимается равным значению меры. При неполном замещении для получения значения измеряемой величины к значению меры следует прибавить величину, на которую изменилось показание прибора.

Преимущество метода замещения – в последовательном во времени сравнении измеряемой величины и величины, воспроизводимой мерой. Бла-

годаря тому, что обе эти величины включаются одна за другой в одну и ту же часть измерительной цепи прибора, точностные возможности измерений значительно повышаются по сравнению с измерениями, проводимыми с помощью других разновидностей метода сравнения, где несимметрия цепей, в которые включаются сравниваемые величины, приводит к возникновению систематических погрешностей. Способ замещения применяется при электрических измерениях с помощью мостов переменного тока, условие равновесия которых определяется не только значениями величин, воспроизводимых элементами плеч моста, но также и влиянием паразитных токов, емкостей, индуктивностей и рядом других факторов. Эти причины вызывают появление погрешностей, которые могут быть исключены, если проводить измерения методом замещения. Для этого вначале мост уравнивается с включенной в его цепь измеряемой величиной, которая затем замещается известной величиной, и мост уравнивается вновь. Если при этом никаких изменений ни в мосте, ни во внешних условиях не происходит, то указанные выше погрешности исключаются почти полностью.

Одним из общих методов измерений является *метод совпадений*, представляющий собой разновидность метода сравнения с мерой. При проведении измерений методом совпадений разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, измеряют, используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов.

По принципу метода совпадений построен нониус, входящий в состав ряда измерительных приборов. Так, например, шкала нониуса штангенциркуля имеет десять делений через 0,9 мм. Когда нулевая отметка шкалы нониуса оказывается между отметками основной шкалы штангенциркуля, это означает, что к целому числу миллиметров необходимо добавить число десятых долей миллиметра, равное порядковому номеру совпадающей отметки нониуса.

В рамках перечисленных выше методов измерений в метрологической практике и в общем приборостроении часто применяются специальные приемы для исключения самих источников систематических погрешностей или их компенсации. Рассмотрим наиболее употребительные из этих приемов.

Параметрическая стабилизация очень широко применяется при ответственных измерениях. Этот прием используют для поддержания в заданных пределах температуры и влажности окружающей среды, напряжения питания и т. д. Наиболее распространены такие способы параметрической стабилиза-

ции, как термостатирование приборов, защита от воздействия вибраций, использование эффективных стабилизаторов в цепях электропитания приборов, экранирование приборов для защиты их от воздействия посторонних электрических, магнитных, радиационных и других полей. Применение этих способов иногда позволяет избежать введения в результаты измерения поправок.

Параметрическую стабилизацию очень широко применяют при ответственных измерениях. Этот прием используют для поддержания в заданных пределах температуры и влажности окружающей среды, напряжения питания и других. Наиболее распространены такие способы параметрической стабилизации, как термостатирование приборов, защита от воздействия вибраций, использование эффективных стабилизаторов в цепях электропитания приборов, экранирование приборов для защиты их от воздействия посторонних электрических, магнитных, радиационных и других полей. Применение этих способов иногда позволяет избежать введения в результаты измерения поправок.

Способ компенсации постоянных и периодических погрешностей по знаку. При реализации этого способа процесс измерения строится таким образом, что постоянная систематическая погрешность входит в результат измерения один раз с одним знаком, а другой раз – с другим. Тогда среднее из двух полученных результатов оказывается свободным от постоянной погрешности.

Способ вспомогательных измерений применяется в тех случаях, когда воздействие влияющих величин на результаты измерений вызывает большие погрешности измерений. Тогда идут на заведомое усложнение схемы измерительной установки, включая в нее элементы, воспринимающие значение влияющих величин, автоматически вычисляющие соответствующие поправки и вносящие их в полезные сигналы, которые поступают на отсчетные или регулирующие устройства.

Способ вспомогательных измерений в большей степени относится к инструментальным методам борьбы с систематическими погрешностями, поэтому в рамках настоящего курса не рассматривается.

Вообще следует заметить, что многие из приведенных методов и приемов исключения систематических погрешностей в настоящее время все в большей степени реализуются схемами самих измерительных средств. В результате разработка методологии измерений приобретает все большее значение непосредственно для проектирования измерительной аппаратуры.

2.1.1. Обработка результатов прямых равнорассеянных наблюдений

Прямыми называются измерения, в результате которых искомое значение физической величины находят непосредственно из опытных данных. Прямые измерения осуществляют путем многократных наблюдений. Результаты наблюдений (X_1, X_2, \dots, X_n) называются равнорассеянными, если они являются независимыми, одинаково распределенными случайными величинами. Равнорассеянные результаты получают при измерениях, проводимых одним наблюдателем или группой наблюдателей с помощью одних и тех же методов и средств измерений в неизменных условиях внешней среды.

Обработку результатов наблюдений в соответствии с методикой прямых измерений с многократными наблюдениями производят в следующем порядке.

Путем введения поправок исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений.

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

Вычисляют оценку s_x среднеквадратического отклонения результатов наблюдения и оценку s_x среднеквадратического отклонения среднего арифметического.

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

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

Вычисляют доверительные границы случайной погрешности при доверительной вероятности $P = 0,96$, а также при $P = 0,99$, если измерения в дальнейшем повторить нельзя.

Определяют границы неисклученной систематической погрешности результата измерений. В качестве составляющих неисклученной систематической погрешности рассматривают погрешности метода, погрешности средств измерений (например, пределы допускаемой основной и дополнительных погрешностей, если их случайные составляющие пренебрежимо малы) и погрешности, вызванные другими источниками. При суммировании со-

ставляющих неисключенные систематические погрешности средств измерений рассматривают как случайные величины. Если их распределение неизвестно, то принимают равномерное распределение и тогда границы неисключенной систематической погрешности результата при числе составляющих $m > 4$ определяют как

$$\theta = \bar{k} \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (2.1)$$

где θ_i – границы отдельных составляющих общим числом m ; k – коэффициент, равный 1,1 при доверительной вероятности $P = 0,95$ и 1,4 при $P = 0,99$.

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

Если эти условия не выполняются, то доверительные границы погрешности результата определяют по формуле $\Delta = K \cdot S_{\Sigma}$, где коэффициент K находят из выражения

$$K = \frac{\delta + \theta}{S_{\bar{x}} + S_{\theta}}, \quad (2.2)$$

а среднеквадратическое общей погрешности результата $S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\bar{x}}^2 + S_{\theta}^2}$ находят квадратическим суммированием дисперсии случайной $S_{\bar{x}}^2$ и систематической S_{θ}^2 погрешности результата, определяемой формулой (1.175). Границы случайной δ и систематической θ погрешностей, входящие в формулу (2.2), необходимо выбирать при одной и той же доверительной вероятности ($P = 0,95$ или $P = 0,99$).

Результат измерения записывают в виде $\bar{X} \pm (\Delta; P)$, а при отсутствии сведений о виде функции распределения составляющих погрешности и необ-

ходимости дальнейшей обработки результатов и анализа погрешностей \bar{X} , S , n , θ .

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

В некоторых случаях нас может интересовать не сама измеряемая величина, а связанная с ней функциональной зависимостью. Требуется найти интервальную или точечную оценку ее истинного значения. Решается такая задача следующим образом.

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

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

$$S = f(\bar{X}) \pm t_p \cdot S_{\bar{x}} \left(\frac{df}{dQ} \right)_{Q=\bar{X}}. \quad (2.3)$$

2.1.2. Обработка неравнорассеянных рядов наблюдений

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

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

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

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

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

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

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

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

Основой для расчета служат следующие данные:

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

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

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

m – число рядов.

Если результаты наблюдений во всех рядах распределены нормально, то нормально распределены и все m средних арифметических

$\bar{X}_j (j = 1, 2, \dots, m)$ с дисперсиями $\sigma_{\bar{X}_j}^2 = \frac{\sigma_j^2}{n_j}$:

$$p_{\bar{X}_j}(x) = \left(\frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j} \sqrt{2\pi}} \right) e^{-\frac{(\bar{X}_j - Q)^2}{2\sigma_{\bar{X}_j}^2}}, \quad (2.4)$$

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

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

$$\alpha_j = \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2} = \frac{n_j}{\sigma_j^2}. \quad (2.5)$$

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

$$\bar{X}_0 = \frac{\sum_{j=1}^m \alpha_j \bar{X}_j}{\sum_{j=1}^m \alpha_j}. \quad (2.6)$$

Иногда удобно пользоваться безразмерными весовыми коэффициентами:

$$\alpha_j = \frac{\alpha_j}{\sum_{j=1}^m \alpha_j} = \frac{\frac{n_j}{\sigma_j^2}}{\sum_{j=1}^m \frac{n_j}{\sigma_j^2}}, \quad (2.7)$$

тогда выражение для среднего взвешенного приобретает простой вид:

$$\bar{X}_0 = \sum_{j=1}^m \alpha_j \bar{X}_j. \quad (2.8)$$

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

$$\sigma_{\bar{X}_0}^2 = \left[M \left(-\frac{d^2 L}{dQ^2} \right) \right]^{-1} = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}}. \quad (2.9)$$

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

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

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

$$k = \frac{\left[\left(\sum_{j=1}^m \frac{1}{S_{\bar{X}_j}^2} \right)^2 \right]}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{n_j + 1} \cdot \frac{1}{S_{\bar{X}_j}^4} - 2}. \quad (2.10)$$

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

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

$$g = (981,9190 \pm 0,0004) \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}; \quad g = (981,9215 \pm 0,0016) \text{ см} \cdot \text{с}^{-2};$$

$$g = (981,9230 \pm 0,0020 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Весовые коэффициенты отдельных результатов вычислим по формуле (2.7):

$$\alpha_1 = \frac{\frac{1}{(0,0004)^2}}{\left[\frac{1}{(0,0004)^2} + \frac{1}{(0,0016)^2} + \frac{1}{(0,0020)^2} \right]} = 0,91;$$

$$\alpha_2 = \frac{\frac{1}{(0,0016)^2}}{\left[\frac{1}{(0,0004)^2} + \frac{1}{(0,0016)^2} + \frac{1}{(0,0020)^2} \right]} = 0,06;$$

$$\alpha_3 = \frac{\frac{1}{(0,0020)^2}}{\left[\frac{1}{(0,0004)^2} + \frac{1}{(0,0016)^2} + \frac{1}{(0,0020)^2} \right]} = 0,03.$$

Среднее взвешенное в соответствии с уравнением (2.8) составляет:

$$\bar{X}_0 = 0,91 \cdot 981,9190 + 0,06 \cdot 981,9251 + 0,03 \cdot 981,9230 = 981,9193 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2},$$

а его дисперсия по формуле (2.9)

$$\sigma_{\bar{X}_0}^2 = \frac{1}{\frac{1}{(0,0004)^2} + \frac{1}{(0,0016)^2} + \frac{1}{(0,0020)^2}} = 14,51 \cdot 10^{-8} \text{ см}^2 \cdot \text{с}^{-4};$$

$$\sigma_{\bar{X}_0} = 0,00038 \approx 0,0004 \text{ см} \cdot \text{с}^{-2}.$$

Обработка результатов косвенных измерений

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

Вначале рассмотрим тот простейший случай, когда искомая величина Q_Z определяется как сумма двух величин ($Q_{\bar{X}}$ и Q_Y):

$$Q_Z = Q_{\bar{X}} + Q_Y. \quad (2.11)$$

Поскольку результаты прямых измерений величин $Q_{\bar{X}}$ и Q_Y (после исключения систематических погрешностей) включают некоторые случайные погрешности, то формулу косвенного измерения суммы можно переписать в виде

$$\bar{Z} - \lambda_Z = \bar{X} - \lambda_{\bar{X}} + \bar{Y} - \lambda_Y, \quad (2.12)$$

где \bar{X} , \bar{Y} – средние арифметические (или средние взвешенные), полученные при обработке результатов прямых измерений величин $Q_{\bar{X}}$ и Q_Y , $\lambda_{\bar{X}}$ и λ_Y – случайные погрешности средних, \bar{Z} и λ_Z – оценка истинного значения косвенно измеряемой величины и его случайная погрешность.

Из уравнения (2.12) непосредственно вытекает справедливость двух следующих равенств:

$$\bar{Z} = \bar{X} + \bar{Y}, \quad (2.13)$$

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

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

$$M[\bar{Z}] = M[\bar{X} + \bar{Y}] = M[\bar{X}] + M[\bar{Y}] = Q_{\bar{X}} + Q_Y = Q_Z, \quad (2.14)$$

а ее дисперсия

$$\begin{aligned} \sigma_{\bar{Z}}^2 &= D[\bar{Z}] = D[\lambda_Z] = D[\lambda_{\bar{X}} + \lambda_Y] = M[(\lambda_{\bar{X}} + \lambda_Y)^2] = M[\lambda_{\bar{X}}^2 + \lambda_Y^2 + 2\lambda_{\bar{X}}\lambda_Y] = \\ &= M[\lambda_{\bar{X}}^2] + M[\lambda_Y^2] + 2M[\lambda_{\bar{X}}\lambda_Y] = \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_Y^2 + 2M[\lambda_{\bar{X}}\lambda_Y]. \end{aligned} \quad (2.15)$$

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

$$r_{\bar{X}\bar{Y}} = \frac{M[\lambda_{\bar{X}}\lambda_{\bar{Y}}]}{\delta_{\bar{X}}\delta_{\bar{Y}}}. \quad (2.16)$$

Отсюда, в частности, следует, что коэффициент корреляции между погрешностями $\lambda_{\bar{X}}$ и $\lambda_{\bar{Y}}$ средних арифметических равен коэффициенту корреляции между погрешностями $\delta_{\bar{X}}$ и $\delta_{\bar{Y}}$ результатов отдельных измерений величин $Q_{\bar{X}}$ и Q_Y : $r_{\bar{X}\bar{Y}} = r_{XY}$.

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

$$\sigma_{\bar{Z}}^2 = \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2 + 2r_{\bar{X}\bar{Y}}\sigma_{\bar{X}}\sigma_{\bar{Y}}. \quad (2.17)$$

Если погрешности измерения величин $Q_{\bar{X}}$ и Q_Y некоррелированы, то выражение (2.17) упрощается:

$$\sigma_{\bar{Z}}^2 = \sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2, \quad \sigma_{\bar{Z}}^2 = \sqrt{\sigma_{\bar{X}}^2 + \sigma_{\bar{Y}}^2}. \quad (2.18)$$

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

$$S_{\bar{Z}}^2 = S_{\bar{X}}^2 + S_{\bar{Y}}^2 + 2\hat{r}_{XY}S_{\bar{X}}S_{\bar{Y}}. \quad (2.19)$$

Оценки коэффициента корреляции \hat{r}_{XY} вычисляют на основании результатов прямых измерений исходных величин:

$$\hat{r}_{XY} = \frac{1}{S_{\bar{X}}S_{\bar{Y}}} \sum_{j=1}^m (X_j - \bar{X})(Y_j - \bar{Y}), \quad (2.20)$$

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

При положительной корреляции, т. е. когда $r_{XY} > 0$, одна из погрешностей имеет тенденцию возрастать при увеличении другой, если же корреляция отрицательна, то $r_{XY} < 0$ и погрешность измерения одной величины обнаружи-

вает тенденцию к уменьшению при увеличении погрешности измерения другой величины. Возможные значения коэффициента корреляции лежат в интервале $-1 < r_{XY} < +1$. Если $r_{XY} = 0$, то погрешности измерения некоррелированы.

О наличии корреляции удобно судить по графику, на котором в координатах X, Y изображены пары последовательно получаемых результатов измерения величин $Q_{\bar{X}}$ и Q_Y .

На рис. 2.1 изображены случаи совместного распределения результатов измерения при положительной (рис. 2.1, а) и отрицательной (рис. 2.1, б) корреляции. Результаты измерений на рис. 2.1, в некоррелированы.

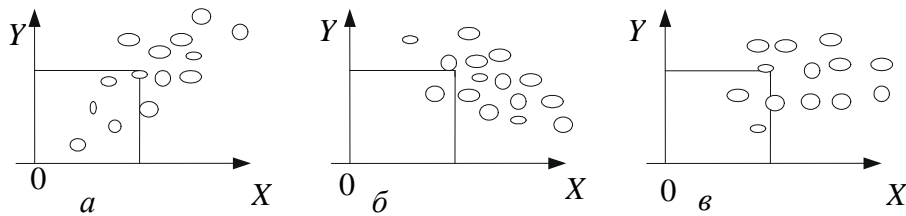


Рис. 2.1. Случаи совместного распределения результатов измерения

Чаще всего наличия корреляции следует ожидать в тех случаях, когда обе величины измеряются одновременно однотипными измерительными средствами, причем неуловимые изменения внешних воздействий (электрических, магнитных, температурных и других полей, условий питания) одновременно заметно влияют на формирование случайных погрешностей их измерения. В некоторых случаях причиной корреляции между результатами измерений может стать сам оператор, поскольку при некоторых исследованиях, связанных с ручным уравниванием приборов сравнения (сличением мер на точных весах, в фотометрии), искусство и опыт наблюдателя оказывают значительное влияние на результаты измерений. В тех же случаях, когда исходные величины измеряют с помощью различных средств измерения в разное время, можно с полным правом ожидать, что результаты, если и будут коррелированы, то очень мало, и коэффициентом корреляции в выражениях (2.17) и (2.19) можно пренебречь.

Распределение результата косвенных измерений будет нормальным, если нормальны распределения результатов прямых измерений. В этих условиях для построения доверительного интервала, накрывающего истинное значение измеряемой величины, следует применить нормированную функцию

нормального распределения, если число измерений достаточно велико. Если же объемы рядов прямых измерений недостаточно велики, то можно воспользоваться распределением Стюдента с некоторым «эффективным» числом степеней свободы, которое для рассматриваемого случая при независимости погрешностей измерения ($r_{XY} = 0$) подсчитывается по формуле

$$k_{\text{эфф}} = \frac{\left(S_{\bar{X}}^2 + S_Y^2 \right)^2}{\frac{S_{\bar{X}}^4}{n_{\bar{X}} + 1} + \frac{S_Y^4}{n_Y + 1}} - 2 = \frac{S_{\bar{Z}}^4}{\frac{S_{\bar{X}}^4}{n_{\bar{X}} + 1} + \frac{S_Y^4}{n_Y + 1}} - 2, \quad (2.21)$$

где $n_{\bar{X}}$ и n_Y – числа прямых наблюдений величин Q_X и Q_Y .

Если числа наблюдений одинаковы ($n_{\bar{X}} = n_Y = n$), то выражение для эффективного числа степеней свободы распределения Стюдента упрощается:

$$k_{\text{эфф}} = (n + 1) \frac{S_{\bar{Z}}^4}{S_{\bar{X}}^4 + S_Y^4} - 2. \quad (2.22)$$

Итоговый результат измерений записываем в виде

$$Q_Z = \bar{Z} \pm t_p S_{\bar{Z}}, \quad (2.23)$$

где t_p определяется из выражения

$$P\left(|\bar{Z} - Q_Z| < t_p S_{\bar{Z}}\right) = 2\Phi(t_p) - 1, \quad (2.24)$$

или

$$P\left(|\bar{Z} - Q_Z| < t_p S_{\bar{Z}}\right) = 2 \int_0^{t_p} S(tk_{\text{эфф}}) dt. \quad (2.25)$$

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

$$Q_0 = \sum_{j=1}^m Q_j. \quad (2.26)$$

К такой формуле приходим при измерении больших величин по частям, например при измерении длин с помощью концевых мер длины, взвешивании с применением набора гирь, измерении на электрических приборах сравнения с помощью магазинов сопротивлений, емкостей или индуктивностей, измерении объемов жидкостей мерниками меньшей вместимости и т. д. В этих случаях в качестве наиболее достоверной оценки \hat{Q}_0 истинного значения измеряемой величины Q_0 принимается сумма оценок \hat{Q}_j истинных значений слагаемых:

$$\hat{Q}_0 = \sum_{j=1}^m \hat{Q}_j. \quad (2.27)$$

Пример. Без учета поправки на теплообмен подъем температуры Δt в калориметре определяют как разность между конечной t_2 и начальной t_1 температурами. После обработки опытных данных были получены следующие (округленные) результаты с соответствующими среднеквадратическими отклонениями:

$$\begin{aligned} t_1 &= 25,10718 \text{ }^\circ\text{C}, \quad S_i = 0,6 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}, \\ t_2 &= 27,10739 \text{ }^\circ\text{C}, \quad S_i = 0,3 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}. \end{aligned}$$

Результат косвенного измерения находим по формуле (2.12) как разность соответствующих средних арифметических:

$$\Delta t = \bar{t}_2 - \bar{t}_1 = 27,10739 - 25,10718 = 2,00021 \text{ }^\circ\text{C},$$

а среднеквадратическое отклонение результата – по формуле (2.18):

$$\sigma_{\Delta t} = \sqrt{\sigma_1^2 - \sigma_2^2} = \sqrt{0,6 \cdot 10^{-8} + 0,3 \cdot 10^{-8}} = 0,7 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}.$$

Итог измерения:

$$\Delta t = (2,00021 \pm 0,00007) \text{ }^\circ\text{C}, \quad P = 0,6826.$$

Здесь мы приняли $t_p = 1$, что при нормальном распределении погрешностей измерений и достаточно большом числе их наблюдений соответствует доверительной вероятности 0,6826 нахождения подъема температуры в указанных пределах.

2.1.3. Критерии ничтожных погрешностей

Не все частные погрешности E_k косвенного измерения играют одинаковую роль в формировании итоговой погрешности результата.

В метрологии существует понятие «критерий ничтожных погрешностей», а сами погрешности, отвечающие условию (2.19), называются ничтожными, или ничтожно малыми.

Использование критерия ничтожных погрешностей при решении задачи косвенных измерений позволяет найти те величины, повышение точности измерения которых позволит уменьшить суммарную погрешность результата. Очевидно, не имеет смысла повышать точность измерения тех величин, частные погрешности которых и без того ничтожно малы.

2.1.4. Метрологические характеристики средств измерений

Все средства измерений, независимо от их конкретного исполнения, обладают рядом общих свойств, необходимых для выполнения ими их функционального назначения. Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и на погрешности измерений, называются метрологическими характеристиками [8, 9]. Перечень важнейших из них регламентируется ГОСТ «Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Комплекс нормируемых метрологических характеристик устанавливается таким образом, чтобы с их помощью можно было оценить погрешность измерений, осуществляемых в известных рабочих условиях эксплуатации посредством отдельных средств измерений или совокупности средств измерений, например автоматических измерительных систем.

Одной из основных метрологических характеристик измерительных преобразователей является статическая характеристика преобразования (иначе называемая функцией преобразования или градуировочной характеристикой). Она устанавливает зависимость $y = f(x)$ информативного параметра y выходного сигнала измерительного преобразователя от информативного параметра x входного сигнала. Статическая характеристика нормируется путем задания в форме уравнения, графика или таблицы. Понятие статической характеристики применимо и к измерительным приборам, если под независимой переменной x понимать значение измеряемой величины или информативного параметра входного сигнала, а под зависимой величиной – показание прибора.

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

Важной характеристикой шкальных измерительных приборов является цена деления, т. е. то изменение измеряемой величины, которому соответствует перемещение указателя на одно деление шкалы. Если чувствительность постоянна в каждой точке диапазона измерения, то шкала называется равномерной. При неравномерной шкале нормируется наименьшая цена деления шкалы измерительных приборов. У цифровых приборов шкалы в явном виде нет, и на них вместо цены деления указывается цена единицы младшего разряда числа в показании прибора.

Важнейшей метрологической характеристикой средств измерений является погрешность. Под абсолютной погрешностью меры понимается алгебраическая разность между ее номинальным X_n и действительным X_d значениями:

$$\Delta = X_n - X_d, \quad (2.28)$$

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

$$\Delta = X_n - X_d. \quad (2.29)$$

Абсолютная погрешность измерительного преобразователя может быть выражена в единицах входной или выходной величины. В единицах входной величины абсолютная погрешность преобразователя определяется как разность между значением входной величины X , найденной по действительному значению выходной величины и номинальной статической характеристике преобразователя, и действительным значением X_d входной величины:

$$\Delta = X - X_d. \quad (2.30)$$

Однако в большей степени точность средства измерений характеризует относительная погрешность, т. е. выраженное в процентах отношение абсо-

лютной погрешности к действительному значению измеряемой или воспроизводимой данным средством измерений величины:

$$\delta = \frac{100\Delta X}{X_d}. \quad (2.31)$$

Обычно $\delta \ll 1$, поэтому в формулу (2.31) вместо действительного значения может быть подставлено номинальное значение меры или показание измерительного прибора.

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

$$\gamma = \frac{100\Delta X}{X_N}. \quad (2.32)$$

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

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

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

Систематические погрешности являются в общем случае функцией измеряемой величины, влияющих величин (температуры, влажности, напряжения питания и пр.) и времени. В функции измеряемой величины систематические погрешности находят при поверке и аттестации образцовых приборов, например измерением наперед заданных значений измеряемой величины в нескольких точках шкалы.

В результате строится кривая или создается таблица погрешностей, которая используется для определения поправок. Поправка в каждой точке шкалы численно равна систематической погрешности и обратна ей по знаку,

поэтому при определении действительного значения измеряемой величины поправку следует прибавить к показанию прибора. Так, если поправка к показанию динамометра 120 Н равна $+0,6$ Н, то действительное значение измеряемой силы составляет $120 + 0,6 = 120,6$ Н. Удобнее пользоваться поправкой, чем систематической погрешностью, поэтому приборы чаще снабжают кривыми или таблицами поправок.

Систематическую погрешность в функции измеряемой величины можно представить в виде суммы погрешности схемы, определяемой самой структурной схемой средства измерений, и технологических погрешностей, обусловленных погрешностями изготовления его элементов.

Как те, так и другие виды погрешностей можно рассматривать в качестве систематических лишь при измерении постоянной величины с помощью одного экземпляра измерительного прибора. В массе же измерений различных значений физической величины, осуществляемых одним или многими приборами того же типоразмера, эти систематические погрешности приходится относить к классу случайных.

Между погрешностями схемы и технологическими погрешностями средств измерений существует принципиальная разница. Если первые накладывают свой отпечаток на характер изменения по шкале суммарной погрешности всех средств измерений данного типоразмера, то технологические погрешности индивидуальны для каждого экземпляра, т. е. их значения в одних и тех же точках шкалы различны для различных экземпляров приборов. На рис. 2.2, *а* показано взаимное положение статических характеристик реального $f(Q)$ и идеального $f_0(Q)$ приборов при наличии только погрешностей схемы. Технологические погрешности в большей степени искажают эту картину.

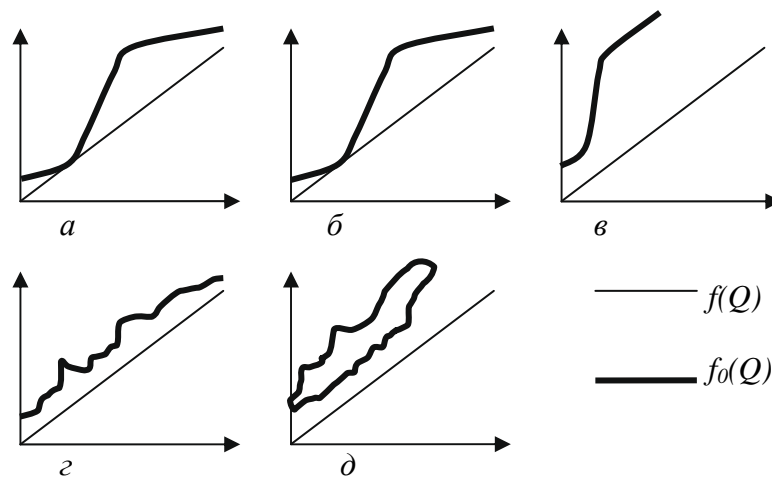


Рис. 2.2. Погрешности средств измерений

Результатами их проявления являются:

- поступательное смещение статической характеристики относительно характеристики идеального прибора и возникновение погрешности, постоянной в каждой точке шкалы. Эта погрешность называется аддитивной (рис. 2.2, б);
- поворот статической характеристики и появление погрешности, линейно возрастающей или убывающей с ростом измеряемой величины и называемой мультипликативной погрешностью (рис. 2.2, в);
- нелинейные искажения статической характеристики (рис. 2.2, г);
- появление погрешности обратного хода, выражающейся в несовпадении статических характеристик прибора при увеличении и уменьшении измеряемой величины (рис. 2.2, д).

Динамические погрешности обуславливаются инерционными свойствами средств измерений и появляются при измерении переменных во времени величин. Типичным случаем является измерение с регистрацией сигнала, изменяющегося со временем. Если $x(t)$ и $y(t)$ – сигналы на входе и на выходе средства измерений с чувствительностью K , то динамическая погрешность

$$\zeta_d(t) = \frac{y(t)}{K} - x(t). \quad (2.33)$$

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

$$\sum_{i=1}^n a_i y^{(i)}(t) = \sum_{j=0}^m b_j x^{(j)}(t), \quad (2.34)$$

где $y^{(i)}(t)$ и $x^{(j)}(t)$ – i -е и j -е производные входного и выходного сигналов; a_i и b_j – постоянные коэффициенты; n и m – порядок левой и правой частей уравнения, причем $n < m$. Дифференциальное уравнение является метрологической характеристикой средств измерения, поскольку позволяет при известном сигнале на входе $x(t)$ найти выходной сигнал $y(t)$ и после подстановки их в выражение (2.26) вычислить динамическую погрешность.

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

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

При восприятии измеряемой величины или измерительного сигнала средство измерений оказывает некоторое воздействие на объект измерения или на источник сигнала. Результатом этого воздействия может быть некоторое изменение измеряемой величины относительно того значения, которое имело место при отсутствии средства измерений. Такое обратное воздействие средства измерений на объект измерений особенно четко просматривается при измерении электрических величин. Так, ЭДС нормального элемента определяется как напряжение на его зажимах в режиме холостого хода. При измерении этого напряжения вольтметром с некоторым конечным входным сопротивлением результат измерения будет зависеть от соотношения между внутренним сопротивлением нормального элемента (его выходное сопротивление) и входным сопротивлением вольтметра. Для оценки возникающей при этом погрешности необходимо знать значения этих сопротивлений, поэтому их следует рассматривать как метрологические характеристики.

Влияние внешних воздействий и неинформативных параметров сигналов (влияющих величин) описывается с помощью метрологических характеристик, называемых функциями влияния. Функция влияния $\Psi(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q)$ – это зависимость соответствующей метрологической характеристики из числа вышеперечисленных от влияющих величин $\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_q$ (температуры внешней среды, параметров внешних вибраций и т. д.). В большинстве случаев можно ограничиться набором функций влияния каждой из влияющих величин $\Psi(\xi_1), \Psi(\xi_2), \dots, \Psi(\xi_q)$, но иногда приходится использовать функции совместного влияния нескольких величин, если изменение одной из влияющих величин приводит к изменению функции влияния другой.

2.1.5. Нормирование метрологических характеристик средств измерений

Под нормированием понимается установление границ на допустимые отклонения реальных метрологических характеристик средств измерений от их номинальных значений. Только посредством нормирования метрологических характеристик можно добиться их взаимозаменяемости и обеспечить единство измерений в государстве. Реальные значения метрологических характеристик определяют при изготовлении средств измерений и затем проверяют периодически во время эксплуатации. Если при этом хотя бы одна из метрологических характеристик выходит за установленные границы, то такое средство измерений либо подвергают регулировке, либо изымают из обращения [1].

Нормы на значения метрологических характеристик устанавливаются стандартами на отдельные виды средств измерений. При этом делается различие между нормальными и рабочими условиями применения средств измерений.

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

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

Для нормальных условий эксплуатации средств измерений должны нормироваться характеристики суммарной погрешности и ее систематической и случайной составляющих. Суммарная погрешность Δ средств измерений в нормальных условиях эксплуатации называется основной погрешностью и нормируется заданием предела допускаемого значения Δ_d , т. е. того

наибольшего значения, при котором средство измерений еще может быть признано годным к применению.

Перечисленные выше метрологические характеристики следует нормировать не только для нормальной, но и для всей рабочей области эксплуатации средств измерений, если их колебания, вызванные изменениями внешних влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала в пределах рабочей области, существенно меньше номинальных значений. В противном случае эти характеристики нормируются только для нормальной области, а в рабочей области нормируются дополнительные погрешности путем задания функций влияния $\Psi(\xi)$ или наибольших допустимых изменений $\Delta I(\xi)$ отдельно для каждого влияющего фактора; в случае необходимости – и для совместного изменения нескольких факторов. Функции влияния нормируются формулой, числом, таблицей или задаются в виде номинальной функции влияния и предела допускаемых отклонений от нее.

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

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

2.1.6. Классы точности средств измерений

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

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

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

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

$$\Delta = \pm a, \quad (2.35)$$

либо в виде двухчленной формулы

$$\Delta = \pm (a + bx), \quad (2.36)$$

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

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

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности нормируют в виде одночленной формулы

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} = \pm p, \quad (2.37)$$

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

Пределы допускаемой относительной основной погрешности могут нормироваться либо одночленной формулой

$$\delta = \frac{\Delta}{X} = \pm q, \quad (2.38)$$

либо двухчленной формулой

$$\delta = \frac{\Delta}{X} = \pm \left[c + d \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right], \quad (2.39)$$

где X_k – конечное значение диапазона измерений или диапазона значений воспроизводимой многозначной меры величины, а постоянные числа q , c и d выбираются из того же ряда, что и число p .

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

Средствам измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых задаются относительной погрешностью по одночленной формуле (2.38), присваивают классы точности, выбираемые из ряда чисел p и равные соответствующим пределам в процентах. Так, для средства измерений с $\delta = 0,002$ класс точности обозначается $\textcircled{0.2}$.

Если пределы допускаемой основной относительной погрешности выражают двухчленной формулой (2.39), то класс точности обозначают как c/d , где числа c и d выбирают из того же ряда, что и p , но записывают в процентах. Так, измерительный прибор класса точности 0,02/0,01 характеризуется пределами допускаемой основной относительной погрешности

$$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left| \frac{X_k}{X} \right| - 1 \right) \right] \% . \quad (2.40)$$

Классы точности средств измерений, для которых пределы допускаемой основной приведенной погрешности нормируются по формуле (2.37), обозначаются одной цифрой, выбранной из ряда для чисел p и выраженной в процентах. Если, например, $\gamma = \pm 0,005 = 0,5 \%$, то класс точности обозначается как 0,5 (без кружка).

Классы точности обозначают римскими цифрами или буквами латинского алфавита для средств измерений, пределы допускаемой погрешности которых задаются в форме графиков, таблиц или сложных функций входной, измеряемой или воспроизводимой величины. К буквам при этом допускается

присоединять индексы в виде арабской цифры. Чем меньше пределы допускаемой погрешности, тем ближе к началу алфавита должна быть буква и тем меньше цифра. Недостатком такого обозначения класса точности является его чисто условный характер.

Никакое нормирование погрешностей средств измерений само по себе не может обеспечить единства измерений. Для достижения единства измерений необходима регламентация самих методик проведения измерений.

2.1.7. Регулировка и градуировка средств измерений

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

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

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

После регулировки нуля, т. е. устранения аддитивной погрешности, систематическая погрешность обращается в нуль на нижнем пределе измере-

ния, а в диапазоне измерения принимает значения, являющиеся случайной функцией $\Delta_c(X)$ измеряемой величины.

Более высокими метрологическими характеристиками обладают измерительные приборы, имеющие узел регулировки чувствительности. Наличие такой регулировки позволяет поворачивать статическую характеристику, что открывает большие возможности для снижения погрешности схемы и главным образом мультипликативной погрешности. Так, одновременной регулировкой нуля и чувствительности можно свести систематическую погрешность к нулю сразу в нескольких точках шкалы прибора. От правильности выбора таких точек зависят значения оставшихся после регулировки систематических погрешностей в других точках шкалы.

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

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

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

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

Различают следующие способы градуировки.

Использование типовых шкал. Для подавляющего большинства рабочих и многих эталонных приборов используют типовые шкалы, которые изготавливают заранее в соответствии с уравнением статической характеристики идеального прибора. Если статическая характеристика линейна, то шкала ока-

зывается равномерной. При регулировке параметрам элементов прибора экспериментально придают такие значения, при которых погрешность в точках регулировки становится равной нулю.

Индивидуальная градуировка шкал. Индивидуальную градуировку шкал осуществляют в тех случаях, когда статическая характеристика прибора нелинейна или близка к линейной, но характер изменения систематической погрешности в диапазоне измерения случайным образом меняется от прибора к прибору данного типа (например, вследствие разброса нелинейности характеристик чувствительного элемента) так, что регулировка не позволяет уменьшить основную погрешность до пределов ее допускаемых значений.

Индивидуальную градуировку проводят в следующем порядке.

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

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

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

2.1.8. Методы поверки (калибровки) средств измерений, поверочные схемы

Калибровка средств измерений — это совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и/или пригодности к применению средств изме-

рений, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору. Под пригодностью средства измерения подразумевается соответствие его метрологических характеристик ранее установленным техническим требованиям, которые могут содержаться в нормативном документе или определяться заказчиком. Вывод о пригодности делает калибровочная лаборатория.

Возможные варианты организации калибровочных работ:

- предприятие самостоятельно организует у себя проведение калибровочных работ и не аккредитуется ни в какой системе;
- предприятие, заинтересованное в повышении конкурентоспособности продукции, аккредитуется в Российской системе калибровки (РСК) на право проведения калибровочных работ от имени аккредитовавшей его организации;
- предприятие аккредитуется в РСК с целью выполнения калибровочных работ на коммерческой основе;
- предприятия, аккредитовавшиеся на право поверки средств измерений, одновременно получают аттестат аккредитации на право проведения калибровочных работ по тем же видам (областям) измерений;
- метрологические институты и органы Государственной метрологической службы регистрируются в РСК одновременно как органы аккредитации и как калибровочные организации;
- аккредитация предприятия в качестве калибровочной лаборатории в зарубежной калибровочной службе открытого типа.

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений: непосредственное сличение с эталоном; сличение с помощью компаратора; прямые измерения величины; косвенные измерения величины.

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

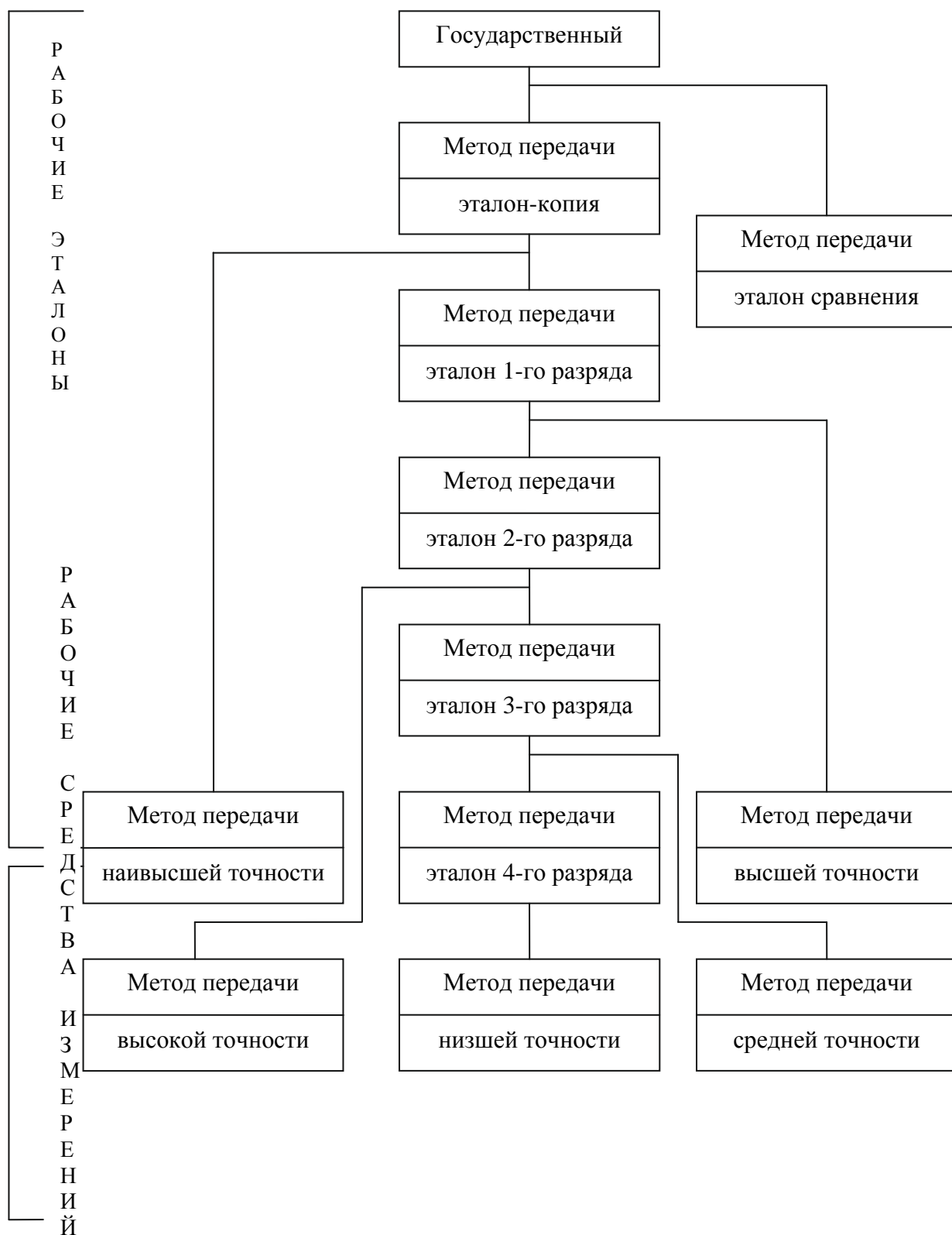


Рис. 2.3. Общий вид государственной поверочной схемы

Для второго метода необходим компаратор – прибор сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину, например двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой – переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено – компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

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

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

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

Поверочные схемы разделяют на государственные и локальные. Государственные поверочные схемы (рис. 2.3) используют для всех средств изме-

рений данного вида, применяемые в стране. Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических органов министерств, распространяются они также и на средства измерений подчиненных предприятий. Кроме того, может составляться и локальная схема на средства измерений, используемые на конкретном предприятии. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой. Государственные поверочные схемы разрабатывают научно-исследовательские институты Госстандарта РФ, держатели государственных эталонов.

В некоторых случаях бывает невозможно одним эталоном воспроизвести весь диапазон величины, поэтому в схеме может быть предусмотрено несколько первичных эталонов, которые в совокупности воспроизводят всю шкалу измерений. Например, шкала температуры от 1,5 до $1 \cdot 10^5$ К воспроизводится двумя государственными эталонами.

2.1.9. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов

Под стандартными образцами принято понимать образцы веществ или материалов, химический состав или физические свойства которых типичны для данной группы веществ (материалов), определены с необходимой точностью, отличаются высоким постоянством и удостоверены сертификатом.

Стандартные образцы используют для градуировки, поверки и калибровки химического состава и различных свойств материалов (механических, теплофизических, оптических и др.). Стандартные образцы как мера с установленной погрешностью (классом точности) применяют непосредственно для контроля качества сырья и промышленной продукции путем сличения. По существу стандартные образцы служат для поддержания единства измерений, т. е. являются средствами измерений.

Основу классификации стандартных образцов составляют:

- разновидность характеристики, по которой проводится аттестация стандартного образца;
- метод анализа (сличения) объектов контроля со стандартным образцом;
- агрегатное состояние самого стандартного образца как материала (вещества);
- метрологическое назначение.

Согласно этой классификации стандартные образцы подразделяют по первому признаку на образцы свойств материалов (веществ) и образцы состава материалов (веществ); по второму признаку различают стандартные образцы для химического, рентгеновского, спектроскопического и других видов анализа; по третьему признаку – стандартные образцы в твердом, жидком и газообразном состоянии; по метрологическому назначению (четвертый признак) – стандартные образцы для градуировки, поверки, контроля качества вещества и т. д.

Особо важное значение имеет категория стандартных образцов для установления чистоты веществ. Понятие особо чистых веществ связано с производством многих материалов современной техники, медицины и т. д. Стандартные образцы подвергают специальным испытаниям, по результатам которых на них получают свидетельства (сертификат) и вносят в государственный реестр стандартных образцов, а он, в свою очередь, является составной частью (разделом) Государственного реестра средств измерений. В сертификате стандартного образца обязательно указывают срок годности, поскольку практически все вещества и материалы со временем изменяются вследствие воздействия факторов окружающей среды на их свойства. А от этого зависит достоверность результатов измерений.

К настоящему времени опубликованы данные более чем о 3,5 млн веществ и материалов, что характеризует значимость такого средства измерений, как стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов.

В России действует Государственная служба стандартных образцов (ГССО) в составе НПО «ВНИИМ им. Д. И. Менделеева». Главная цель этой службы – обеспечение любой организации, нуждающейся в проведении контроля качества своей продукции с помощью стандартных образцов, образцами и изготовление новых образцов по заявкам заинтересованных юридических лиц.

2.1.10. Поверка, ревизия и экспертиза средств измерений

Важнейшей формой государственного надзора за измерительной техникой является поверка средств измерений, служащая для установления их метрологической исправности.

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

Первичную поверку проводят при выпуске средств измерений в обращение из производства или ремонта, а *периодическую* – при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения метрологической исправности средств измерений на период между поверками.

Если необходимо удостовериться в исправности средств измерений при проведении работ по корректированию межповерочных интервалов, при повреждении поверительного клейма, пломбы или утраты документов, подтверждающих прохождение средством измерения периодической поверки, а также в ряде других случаев, проводится *внеочередная поверка* средств измерений, причем сроки ее проведения назначаются независимо от сроков периодической поверки.

Инспекционную поверку проводят для выявления метрологической исправности средств измерений, находящихся в обращении, при проведении метрологической ревизии в организациях, на предприятиях и базах снабжения.

Согласно статье 13 «Закона об обеспечении единства измерений» обязательная государственная поверка, осуществляемая с целью соблюдения метрологических правил и норм, распространяется:

на торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом;

государственные учетные операции;

обеспечение обороны государства;

геодезические и гидрометеорологические работы;

банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;

производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;

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

обязательную сертификацию продукции и услуг;

измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;

регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Так, например, к средствам измерений, подлежащим обязательной государственной поверке, относятся: весоизмерительные приборы, расходомер-

ры, счетчики электроэнергии, газа, нефтепродуктов и воды, топливо- и маслораздаточные колонки и ряд других приборов, применяемых для учета и в торговле; шумомеры; дозиметры; рентгенометры и тонометры, медицинские термометры и другие приборы, служащие для охраны здоровья трудящихся; радиометры, измерители напряженности поля СВЧ, газоанализаторы и другие измерительные приборы, обеспечивающие безопасность работ и т. п.

Начальный межповерочный интервал устанавливается при государственных испытаниях средств измерений.

Поверка средств измерений должна осуществляться в соответствии с действующими государственными стандартами на поверочные схемы, методы и средства поверки. Положительные результаты поверки удостоверяются: нанесением на средства измерений поверительного клейма установленного образца, выдачей свидетельства о поверке.

Метрологическая ревизия заключается в проверке состояния средств измерений и выполнении правил их поверки. Результаты метрологической ревизии оформляют актом, содержащим конкретные результаты проверки, а также предложения по изъятию средств измерений, признанных непригодными к применению и по устранению обнаруженных недостатков с указанием сроков.

2.1.11. Аттестация испытательного оборудования

Постановлением Госстандарта России введен в действие государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 8.568–97 «Государственная система обеспечения единства измерений. Аттестация испытательного оборудования. Основные положения».

В ГОСТ Р 8.568–97 реализованы нормы Закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» и Закона Российской Федерации «О сертификации продукции и услуг».

Разработка ГОСТ Р 8.568–97 и введение его в действие на территории России взамен ГОСТ 24555–81 была необходима, так как последний не в полной мере соответствовал положениям указанных законов.

Необходимо отметить, что в ГОСТ Р 8.568–97 сохранена терминология ГОСТ 16504–81 «Система государственных испытаний продукции. Испытания и контроль качества продукции. Основные термины и определения».

Первичная аттестация испытательного оборудования выполняется после монтажа при вводе в эксплуатацию в данном испытательном подразделении, а не на предприятии-изготовителе. Проверка испытательного оборудова-

ния на предприятии-изготовителе выполняется в соответствии с порядком приемо-сдаточных испытаний, установленным в ГОСТ 15.001–88.

В состав комиссии для проведения первичной аттестации испытательного оборудования включают представителей государственных научных метрологических центров или органов государственной метрологической службы в случаях, когда испытательное оборудование используется для испытаний продукции с целью ее сертификации или на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов или при производстве продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд (при поставке для нужд Вооруженных Сил включаются представители 32 Государственного научно-исследовательского испытательного института Министерства обороны Российской Федерации).

Первичная аттестация испытательного оборудования может также выполняться организацией, аккредитованной на право проведения такой работы.

Вместо внеочередной аттестации установлена повторная аттестация, которая проводится в случаях ремонта или модернизации испытательного оборудования, а также других причин, которые могут вызвать изменения характеристик воспроизведения условий испытаний (проведение работ с фундаментом, на котором установлено оборудование, перемещение стационарного оборудования и т. п.). Повторная аттестация испытательного оборудования выполняется в порядке, установленном для периодической аттестации.

Периодическую аттестацию испытательного оборудования в процессе его эксплуатации проводят сотрудники подразделения, в котором это оборудование установлено, и представители метрологической службы предприятия. Эти сотрудники должны быть уполномочены для такой аттестации руководителями подразделения и метрологической службы. В этой связи при проведении первичной аттестации комиссия должна проконтролировать уровень квалификации сотрудников, привлекаемых к периодической аттестации, и соответствие условий ее проведения установленным при первичной аттестации.

Интервалы времени периодической аттестации устанавливаются в эксплуатационной документации или при первичной аттестации, или по результатам контроля состояния испытательного оборудования в процессе его эксплуатации и могут быть различными для различных частей испытательного оборудования.

При первичной, повторной и периодической аттестации испытательного оборудования, используемого для испытаний продукции с целью ее сертификации или на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов или при производстве продукции, поставляемой по контрактам

для государственных нужд, должны применяться средства измерений утвержденных типов в соответствии с ПР 50.2.009–94, экземпляры средств измерений должны быть поверены и методики выполнения измерений должны быть аттестованы в соответствии с ГОСТ Р 8.563–96.

При аттестации испытательного оборудования для испытаний продукции, используемой в других сферах, должны применяться поверенные или калиброванные средства измерений.

В ГОСТ Р 8.568–97 приведены: форма аттестата и рекомендуемое содержание протоколов первичной и периодической аттестации испытательного оборудования.

Вопросы для самопроверки

1. Единство измерений и единообразие средств измерений.
2. Метрологические характеристики средств измерений.
3. Нормирование метрологических характеристик средств измерений.
4. Понятие о метрологической надежности.
5. Поверка средств измерений.

2.1.12. Эталон единицы физической величины

Эталон – средство измерений (или комплекс средств измерений), предназначенное для воспроизведения и (или) хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденное в качестве эталона в установленном порядке.

Примечания:

1. Конструкция эталона, его свойства и способ воспроизведения единицы определяются природой данной физической величины и уровнем развития измерительной техники в данной области измерений.

2. Эталон должен обладать, по крайней мере, тремя тесно связанными друг с другом существенными признаками (по М. Ф. Маликову) – неизменностью, воспроизводимостью и сличаемостью.

Первичный эталон – эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Примечание. В случае, когда одним первичным эталоном технически нецелесообразно обслуживать весь диапазон измеряемой величины, создают несколько первичных эталонов, охватывающих части этого диапазона с таким расчетом, чтобы был охвачен весь диапазон. В этом случае проводят согласование размеров единиц, воспроизводимых «соседними» первичными эталонами.

Вторичный эталон – эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Эталон сравнения – эталон, применяемый для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Исходный эталон – эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений.

Примечания:

1. Исходным эталоном в стране служит первичный эталон, исходным эталоном для республики, региона, министерства (ведомства) или предприятия может быть вторичный или рабочий эталон. Вторичный или рабочий эталон, являющийся исходным эталоном для министерства (ведомства), нередко называют ведомственным эталоном.

2. Эталоны, стоящие в поверочной схеме ниже исходного эталона, обычно называют подчиненными эталонами.

Рабочий эталон – эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Примечания:

1. Термин «рабочий эталон» заменил собой термин «образцовое средство измерений» (ОСИ), что сделано в целях упорядочения терминологии и приближения ее к международной.

2. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды (1-й, 2-й, ..., n -й), как это было принято для ОСИ. В этом случае передачу размера единицы осуществляют через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. При этом от последнего рабочего эталона в этой цепочке размер единицы передают рабочему средству измерений.

Государственный первичный эталон, государственный эталон – первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Пример: государственные эталоны метра, килограмма, секунды, ампера, кельвина, канделы, ньютона, паскаля, вольта, беккереля.

Национальный эталон – эталон, признанный официальным решением служить в качестве исходного для страны.

Примечание. Данное определение соответствует VIM-93. Оно по существу совпадает с определением понятия «государственный эталон». Это свидетельствует о том, что термины «государственный эталон» и «национальный эталон» отражают одно и то же понятие.

Вследствие этого термин «национальный эталон» применяют в случаях проведения сличения эталонов, принадлежащих отдельным государствам, с международным эталоном или при проведении так называемых круговых сличений эталонов ряда стран.

Международный эталон – эталон, принятый по международному соглашению в качестве международной основы для согласования с ним размеров единиц, воспроизводимых и хранимых национальными эталонами.

Пример: международный прототип килограмма, хранимый в МБМВ, утвержден 1-й Генеральной конференцией по мерам и весам (ГКМВ).

Одиночный эталон – эталон, в составе которого имеется одно средство измерений (мера, измерительный прибор, эталонная установка) для воспроизведения и (или) хранения единицы.

Групповой эталон – эталон, в состав которого входит совокупность средств измерений одного типа, номинального значения или диапазона измерений, применяемых совместно для повышения точности воспроизведения единицы или ее хранения.

Примечания:

1. Групповые эталоны подразделяют на групповые эталоны постоянного или переменного составов.

2. За результат измерений принимают обычно среднее арифметическое значение результатов измерений однотипными средствами измерений или эталонными установками.

Эталонный набор – эталон, состоящий из совокупности средств измерений, позволяющих воспроизводить и (или) хранить единицу в диапазоне, представляющем объединение диапазонов указанных средств.

Примечание. Эталонные наборы создаются в тех случаях, когда необходимо охватить определенную область значений физической величины.

Пример: эталонные разновесы (наборы эталонных гирь) и эталонные наборы ареометров.

Транспортируемый эталон – эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам поверки (калибровки) средств измерений или сличений эталонов данной единицы.

Хранение эталона – совокупность операций, необходимых для поддержания метрологических характеристик эталона в установленных пределах.

Примечания:

1. При хранении первичного эталона выполняют регулярные его исследования, включая сличения с национальными эталонами других стран с целью повышения точности воспроизведения единицы и совершенствования методов передачи ее размера.

2. Для руководства работ по хранению государственных эталонов устанавливают специальную категорию должностных лиц – ученых хранителей государственных эталонов, назначаемых из числа ведущих в данной области специалистов-метрологов.

Эталонная база страны, эталонная база – совокупность государственных первичных и вторичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений в стране.

Примечание. Число эталонов не является постоянным, а изменяется в зависимости от потребностей экономики страны. Обычно прослеживается увеличение их числа во времени, что обусловлено постоянным развитием рабочих средств измерений.

Эталонная установка – измерительная установка, входящая в состав эталона.

Примечание. Эталон может состоять из нескольких эталонных установок.

Пример: в состав государственного первичного эталона единицы активности радионуклидов входит шесть эталонных установок.

Поверочная установка – измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки рабочих средств измерений и подчиненных рабочих эталонов.

Воспроизведение единицы физической величины, воспроизведение единицы – совокупность операций по материализации единицы физической величины с помощью государственного первичного эталона.

Примечание. Различают воспроизведение основных и производных единиц.

Воспроизведение основной единицы – воспроизведение единицы путем создания фиксированной по размеру физической величины в соответствии с определением единицы.

Примеры:

1. Воспроизведение единицы длины – метра – в соответствии с его определением, принятым на XVII ГКМВ в 1983 г., заключается в создании при помощи первичного эталона в специальных условиях длины пути, проходимого светом в вакууме за промежуток времени, равный $1/299792458$ с. При этом скорость света в вакууме принята за константу (299792458 м/с).

2. Единица массы – 1 кг (точно) – воспроизведена в виде платино-иридиевой гири, хранимой в МБМВ в качестве международного эталона килограмма. Розданные другим странам эталоны имеют номинальное значение 1 кг, их действительные значения получены по отношению к международному эталону. На основании последних международных сличений платино-иридиевая гиря, входящая в состав государственного эталона единицы массы, в России имела значение $1,000000087$ кг (1979 г.).

Воспроизведение производной единицы – определение значения физической величины в указанных единицах на основании измерений других величин, функционально связанных с измеряемой величиной.

Пример: воспроизведение единицы силы – ньютона – осуществляется на основании известного уравнения механики $F = mg$, где m – масса, g – ускорение свободного падения.

Передача размера единицы – приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы,

воспроизводимой или хранимой эталоном, осуществляемое при их поверке (калибровке).

Примечания:

1. Нередко при поверке (калибровке) измеряют одну и ту же физическую величину поверяемым средством измерения и эталоном с целью установления разности в их показаниях и введения поправки (в показание поверяемого средства измерений).

2. Размер единицы передается «сверху вниз» в соответствии с числом ступеней передачи, установленным поверочной схемой.

Пример: на основании сопоставления показаний высокоточного угломерного прибора с показаниями эталона вводят поправки в каждое оцифрованное деление поверяемого прибора.

Хранение единицы – совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерений.

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

Примечание. Различают государственные и локальные поверочные схемы.

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

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

Ученый хранитель государственного эталона, ученый хранитель – должностное лицо государственного научного метрологического центра, несущее ответственность за правильное хранение и применение государственного эталона и его совершенствование.

Вопросы для самопроверки

1. Централизованное и децентрализованное воспроизведение единиц.
2. Эталоны единиц физических величин. Классификация эталонов.
3. Передача информации о размерах единиц от эталонов средствам измерения.
4. Методы и средства передачи размера единиц. Государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы.

2.2. Технические измерения

2.2.1. Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока

Мощность измеряют в пределах от 10^{-18} до 10^8 Вт во всем частотном диапазоне от постоянного тока до миллиметровых и более коротких длин волн. При измерениях наряду с абсолютными (ватт, милливатт и т. д.) широко используют относительные (логарифмические) единицы мощности. При этом измеряемую мощность P_x оценивают числом децибел, определяемым из соотношения

$$\alpha = 10 \log \frac{P_x}{P_0}, \quad (2.41)$$

где P_0 – мощность, принимаемая за исходный уровень.

Практически значение P_0 выбирают равным 1 мВт или 1 Вт. В первом случае единица измерения 1 дБ/мВт, во втором – 1 дБ/Вт. В зависимости от соотношения P_x и P_0 значение α может быть положительным или отрицательным. Знак минус означает, что P_x меньше P_0 . Отметим, что относительные единицы измерения имеют ряд существенных преимуществ и применяются для оценки мощности источников радиотехнических сигналов, степени их усиления или ослабления чувствительности приемных устройств, погрешностей измерений и т. д.

Активная составляющая мощности однофазного переменного тока

$$P = UI \cos \varphi, \quad (2.42)$$

где U , I – среднеквадратические значения напряжения и тока; φ – фазовый сдвиг между ними.

Если нагрузка чисто активная ($\varphi = 0$), то мощность переменного тока

$$P = UI = I^2 R_n = \frac{U^2}{R_n}. \quad (2.43)$$

Отметим, что при активной нагрузке электрическая энергия полностью преобразуется в теплоту и ее количество Q , выделяющееся за 1 с, пропорционально подведенной мощности:

$$Q = kP_x, \quad (2.44)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

Электрическую мощность можно измерять непосредственно с помощью приборов, называемых ваттметрами, или косвенно путем измерения величин, входящих в приведенные соотношения. Измерители мощности промышленной частоты наряду со счетчиками энергии служат основой действующей системы учета потребления электрической энергии в народном хозяйстве. Измерение мощности в диапазоне звуковых и высоких частот имеет ограниченное значение, так как на частотах до нескольких десятков мегагерц, как правило, удобнее измерять напряжения и токи, а мощность определять расчетным путем. На частотах свыше 100 МГц вследствие волнового характера процессов значения напряжения и токов теряют однозначность и результаты измерений начинают зависеть от места включения прибора. Вместе с тем поток мощности через любое поперечное сечение линии передачи всегда остается неизменным. По этой причине основным параметром, характеризующим режим работы устройства СВЧ, становится мощность.

Построение ваттметров в соответствии с формулами (2.42) и (2.43) основано на реализации операции умножения. Применение находят устройства прямого и косвенного перемножения. Примерами устройств прямого перемножения могут служить измерительные механизмы ваттметров электродинамической системы. Прямое перемножение можно также получить при использовании преобразователей Холла или специальных схем на униполярных (полевых) транзисторах. В устройствах косвенного перемножения произведение величин, входящих в формулу (2.42), осуществляют в результате использования других математических операций, таких, как сложение (вычитание), возведение в степень, логарифмирование, интегрирование и т. д.

В измерительной технике применяют схемы, выполненные на квадраторах – устройствах, выходная величина которых пропорциональна квадрату значений, приложенных ко входу. Подобную характеристику имеют термоэлектрические и выпрямительные (диодные) преобразователи, а также специальные нелинейные цепи, воспроизводящие требуемую квадратическую зависимость. На рис. 2.4 приведена структурная схема ваттметра на квадраторах, в основе которого лежит тождество

$$x_1 x_2 = \frac{1}{4} [(x_1 + x_2)^2 - (x_1 - x_2)^2]. \quad (2.45)$$

В схеме на квадраторах умножения исходных значений заменяют их сложением, вычитанием и возведением в квадрат. В ней кроме квадраторов используются суммирующие и вычитающие устройства, в качестве которых могут быть использованы операционные усилители.

Если $X_1 = U_m \sin \omega t$ и $x_2 = I_m R \sin(\omega t - \varphi)$, то напряжение на входе фильтра составит $4U_m I_m R \sin \omega t \sin(\omega t - \varphi)$. Положив $R = 1,0$ Ом и учтя соотношение для произведения синусов двух углов, имеем $2U_m I_m \cos \varphi - 2U_m I_m \cos(2\omega t - \varphi)$. Соответственно напряжение на выходе фильтра пропорционально измеряемой мощности.

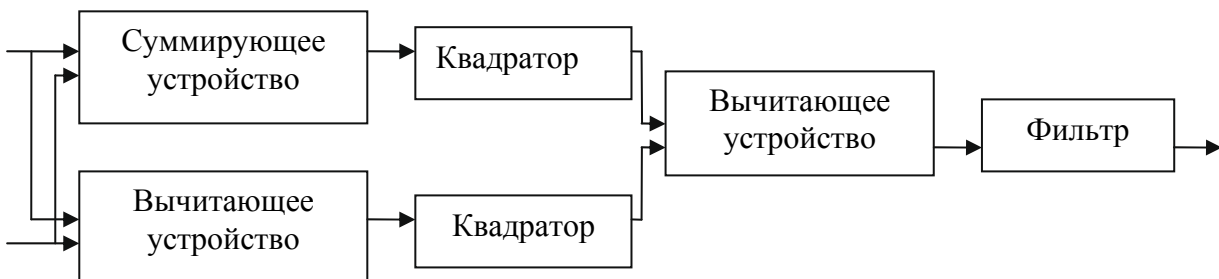


Рис. 2.4. Схема ваттметра на квадраторах

Существенным недостатком схем перемножения на квадраторах является необходимость полной идентичности их характеристик. Нарушение этого требования влечет за собой погрешность измерения. В практических схемах погрешность перемножения составляет несколько процентов.

Более высокую точность умножения обеспечивает операция интегрирования, которую применяют в точных измерительных преобразователях активной мощности промышленной частоты. Перемножение реализуют в два этапа. На первом этапе величину $x_1^{(i)}$ запоминают путем ее интегрирования в пределах строго определенного малого интервала времени t_n :

$$U_{x_1}^{(i)} = k_1 \int_0^{t_n} x_1^{(i)} dt \approx k_1 t_n x_1^{(i)},$$

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

На втором этапе реализуют два процесса. Величину $U_{x_1}^{(i)}$ преобразуют в пропорциональный интервал времени:

$$T_{x_1}^{(i)} = k_2 U_{x_1}^{(i)} = k_1 k_2 t_n x_1^{(i)},$$

где k_2 – коэффициент пропорциональности.

Практически эту операцию выполняют с помощью преобразования, аналогичного используемому в интегрирующих АЦП. Одновременно в пределах того же интервала времени $T_{x_1}^{(i)}$ осуществляют интегрирование второй перемножаемой величины. Результат интегрирования определяет выражение

$$U_{\text{вых}} = k_3 \int_{t_n}^{t_n + T_{x_1}^{(i)}} x_2^{(i)} dt,$$

где k_3 – коэффициент пропорциональности.

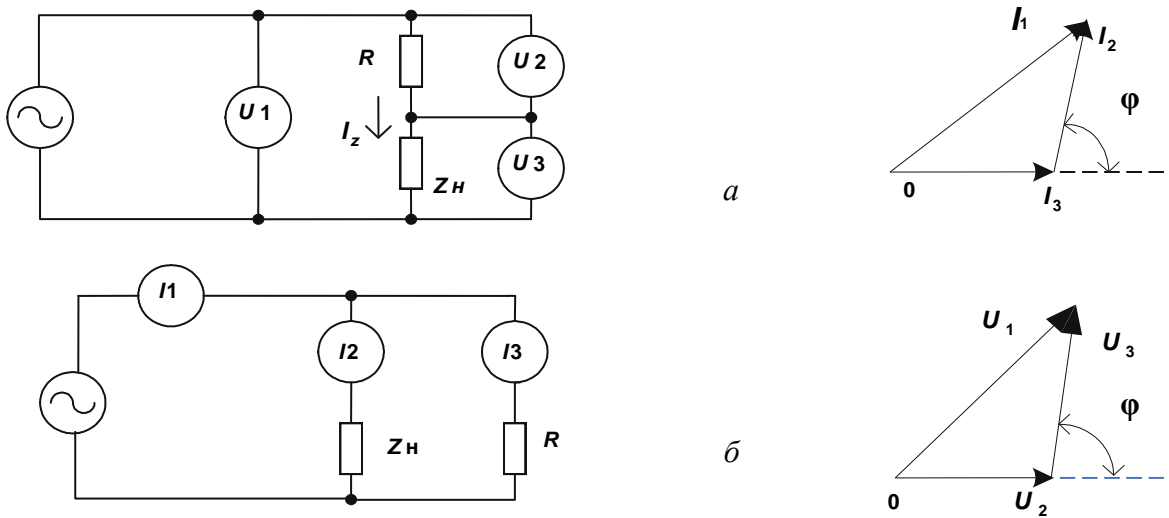


Рис. 2.5. Измерение мощности переменного тока:
а – способ трёх вольтметров; б – способ трёх амперметров

Полагая, что $x_2^{(i)} T_{x_1}^{(i)}$ в пределах $T_{x_1}^{(i)}$ постоянна, имеем

$$U_{\text{вых}} = k_3 x_2^{(i)} T_{x_1}^{(i)} = k_1 k_2 k_3 t_n x_1^{(i)} x_2^{(i)} = k x_1^{(i)} x_2^{(i)}, \quad (2.46)$$

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

Таким образом, выходное напряжение пропорционально произведению входных величин.

Внедрение в измерительную технику микропроцессоров позволяет осуществлять операцию умножения программным путем. При этом определение активной мощности по измеренным мгновенным значениям тока и напряжения сведется к реализации соотношения

$$P = \left(\frac{1}{T_{\text{пр}}} \right) \int_0^{T_{\text{пр}}} U(t) i(t) dt \approx \left(\frac{1}{T_{\text{пр}}} \right) \sum_{k=1}^{T_{\text{пр}} F} U^{(k)} j^{(k)} \Delta f, \quad (2.47)$$

где $F = \frac{1}{\Delta t}$ – частота дискретизации силы тока и напряжения; $T_{\text{пр}}$ – период промышленной частоты.

Практически частоту дискретизации выбирают в пределах нескольких десятков килогерц.

В диапазоне звуковых и высоких частот определение мощности, потребляемой произвольной нагрузкой $Z_{\text{н}}$, можно выполнить в результате использования схем для измерения $\cos \varphi$.

В первой схеме (способ трех вольтметров) последовательно с нагрузкой $Z_{\text{н}}$ включают дополнительный резистор R . Результаты измерения позволяют построить треугольник напряжений и из него определить

$$\cos \varphi = \frac{(U_1^2 - U_2^2 - U_3^2)}{2U_2U_3}. \quad (2.48)$$

Сопротивление резистора R должно иметь значение, близкое к значению $|Z_{\text{н}}|$. Также желательно, чтобы внутренние сопротивления вольтметров во много раз превосходили значение $|Z_{\text{н}}|$. По этой причине способ трех вольтметров используют в тех случаях, когда $Z_{\text{н}}$ достаточно мало.

Вторая схема (способ трех амперметров) в основном используется при достаточно больших значениях $Z_{\text{н}}$. По показаниям амперметров строят треугольник токов, из которого определяют искомое значение $\cos \varphi$:

$$\cos \varphi = \frac{(I_1^2 - I_2^2 - I_3^2)}{2I_2I_3}. \quad (2.49)$$

Во второй схеме желательно использовать амперметры, собственное сопротивление которых мало по сравнению с величиной нагрузки $|Z_{\text{н}}|$.

Способы измерения мощности СВЧ существенно отличаются от рассмотренных. Все они основаны на эквивалентном преобразовании энергии исходных электромагнитных колебаний в другой вид энергии, удобный для измерения. Средства измерения мощности СВЧ подразделяют на измерители поглощаемой и проходящей мощностей.

К первой группе относятся приборы, измеряющие мощность, рассеиваемую на активной нагрузке, являющейся частью самого измерительного прибора. Так как нагрузка должна полностью поглощать измеряемую мощность, то использование прибора возможно лишь при отключенном потребителе. Результат измерения будет точным, если входное сопротивление прибора согласовано с внутренним сопротивлением исследуемого генератора или волновым сопротивлением линии передачи.

Ко второй группе относятся приборы, измеряющие мощность, распространяющуюся по линии передачи при нормальной работе потребителя. В основе их принципа действия, как правило, лежит теорема Умова – Пойнтинга, согласно которой плотность потока мощности определяется векторным произведением напряженностей электрической E и магнитной H составляющих поля:

$$P = EH^*. \quad (2.50)$$

Знак * означает комплексную сопряженность.

2.2.2. Калориметрический измеритель мощности СВЧ

Калориметрический способ – наиболее универсальный способ измерения мощности СВЧ в пределах от единиц милливатт до сотен киловатт. Обычно его используют при точных измерениях относительно больших мощностей. Способ основан на эквивалентном преобразовании измеряемой энергии СВЧ в теплоту и измерении приращения температуры калориметрического тела, поглотившего эту энергию. Энергия СВЧ может рассеиваться непосредственно в калориметрическом теле или на резистивной нагрузке, помещенной в нем. Вне зависимости от формы колебаний результатом измерения будет среднее значение мощности. Различают два вида калориметрических измерений: статический (адиабатический) и циркуляционный.

Статический измеритель (рис. 2.6) состоит из согласованной поглощающей нагрузки, калориметрического тела и измерителя температуры. Из-

меряемую мощность P_x по волноводу подводят к нагрузке, преобразуют в теплоту и нагревают калориметрическое тело. Связь между скоростью приращения температуры и значением измеряемой мощности определяется соотношением

$$P_x = \frac{cm(t_2 - t_1)}{0,24\Delta\tau} \approx 4,17cm \frac{t_2 - t_1}{\Delta\tau}, \quad (2.51)$$

где P_x – измеряемая мощность, Вт;

0,24 – тепловой эквивалент работы, кал/Дж;

m – масса калориметрического тела, г;

c – его удельная теплоемкость, кал/(г·град);

$\Delta\tau$ – время измерения, с;

$(t_2 - t_1)$ – приращение температуры, °С.

В качестве калориметрического (рабочего) тела используют воду.

Для получения высокой точности измерений необходимо обеспечить надежную теплоизоляцию калориметрического тела от окружающей среды. Для этого в подводящем волноводе предусмотрена теплоизолирующая секция.

Преимуществом способа является простота измерений. Предварительную градуировку ваттметра можно выполнить при рассеивании калиброванной мощности постоянного тока (или тока промышленной частоты). Основным недостатком способа является необходимость в периодическом отключении ваттметра для его охлаждения.

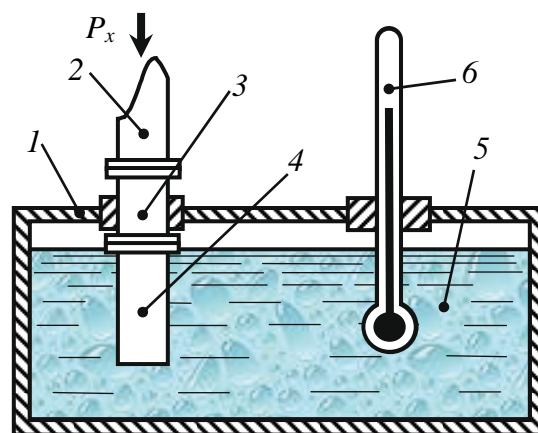


Рис. 2.6. Калориметрический измеритель мощности СВЧ статического типа: 1 – термоизоляция стенок; 2 – подводящий волновод; 3 – секция термоизоляции; 4 – согласованная нагрузка; 5 – калориметрическое тело; 6 – термометр

Кроме воды в качестве рабочего тела используют твердые (объемные или пленочные) поглотители мощности СВЧ. Такой калориметр называют сухим. Он представляет собой коаксиальную или волноводную согласованную нагрузку, помещённую в теплоэкранирующую камеру. Повышение температуры рабочего тела регистрируют с помощью блока дифференциальных термопар, «горячие» спаи которых имеют контакт с рабочим телом, а «холодные» – с корпусом прибора.

Широко распространены калориметрические ваттметры циркуляционного типа (рис. 2.7). В этих ваттметрах калориметрическое тело (обычно вода) циркулирует в системе с постоянной скоростью. При этом о значении рассеиваемой мощности P_x судят по приращению температуры калориметрического тела ΔT . Связь между P_x и ΔT в установившемся режиме определяют, исходя из закона сохранения энергии:

$$P_x = \frac{1}{0,24} c G d \Delta T \approx 4,17 c G d \Delta T, \quad (2.52)$$

где c , G , d – удельная теплоемкость, кал/(г · град); расход, см³/с, и удельная масса, г/см³, калориметрического тела.

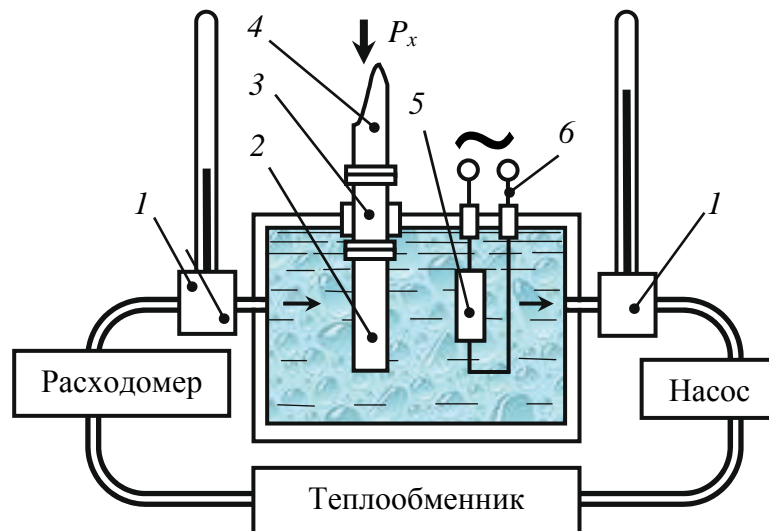


Рис. 2.7. Калориметрический измеритель мощности СВЧ циркуляционного типа: 1 – термометр; 2 – поглощающая нагрузка; 3 – секция термоизоляции; 4 – волновод; 5 – дополнительный нагреватель; 6 – выводы дополнительного нагревателя

Приращение температуры ΔT измеряют с помощью двух термопар, расположенных в системе до и после нагрузки. Если ЭДС термопар включены встречно, то показание индикаторного прибора пропорционально искомому приращению температуры ΔT .

Практическая реализация метода измерения требует строгого контроля за постоянством расхода и неизменностью физических характеристик (d , G и c) калориметрического тела. Появляется необходимость в специальных устройствах, обеспечивающих выполнение этих условий с достаточной степенью точности.

Для уменьшения инерционности ваттметров этого типа измеряемую мощность желательно рассеивать непосредственно в калориметрическом теле.

Поглощающие нагрузки бывают волноводными и коаксиальными. На рис. 2.8 в качестве примера изображена волноводная нагрузка для ваттметров сантиметрового диапазона, рассчитанная на рассеивание средних уровней мощности (сотни ватт). Корпус нагрузки, вставляемой в торец прямоугольного волновода, представляет собой пустотелый клин из специального диэлектрика с малыми потерями на рабочей частоте. Через нагрузку с постоянной скоростью протекает вода, которая, будучи диэлектриком с большими потерями, обеспечивает непосредственное поглощение мощности СВЧ. Согласование нагрузки с волновым сопротивлением волновода обеспечивают выбором формы и размеров клина. Через основание клина проходят две трубки для включения нагрузки в циркуляционную систему калориметра.

Основными причинами погрешности измерений являются: отсутствие точного согласования нагрузки прибора с волновым сопротивлением волновода (коаксиальной линии); непостоянство расхода калориметрического тела и изменение его физических характеристик; неэквивалентность тепловых потерь при рассеянии энергии СВЧ и энергии низкой частоты, на которой калибруют прибор; погрешности измерения энергии низкой частоты.

Точность измерений можно повысить, если воспользоваться методом сравнения. Для этого в калориметрическое тело помещают дополнительный нагреватель (см. рис. 2.7), питание которого осуществляют от калиброванного источника энергии низкой частоты. Намерение мощности осуществляют следующим образом.

Вначале замечают показание индикаторного прибора при рассеивании измеряемой мощности. Затем вместо источника мощности СВЧ включают дополнительный нагреватель и устанавливают такое же показание индикаторного прибора. За результат измерения мощности СВЧ принимают эквивалентное значение калиброванной мощности низкой частоты.

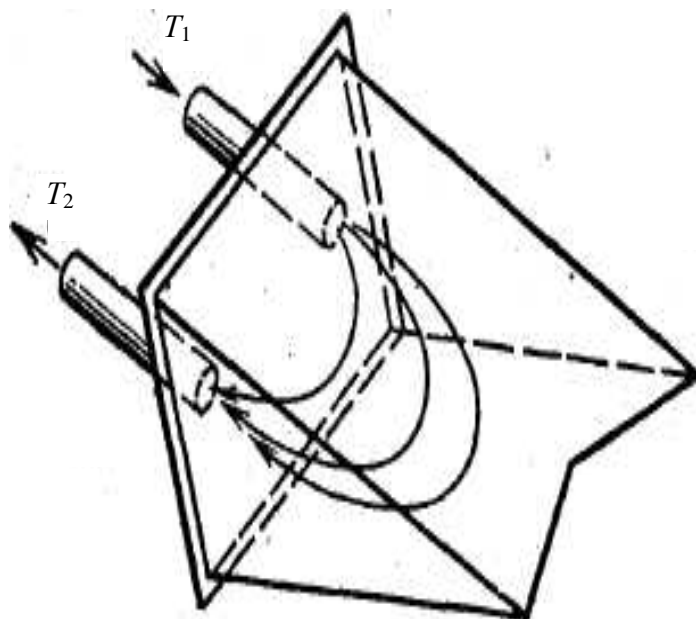


Рис. 2.8. Поглощающая волноводная нагрузка для ваттметров

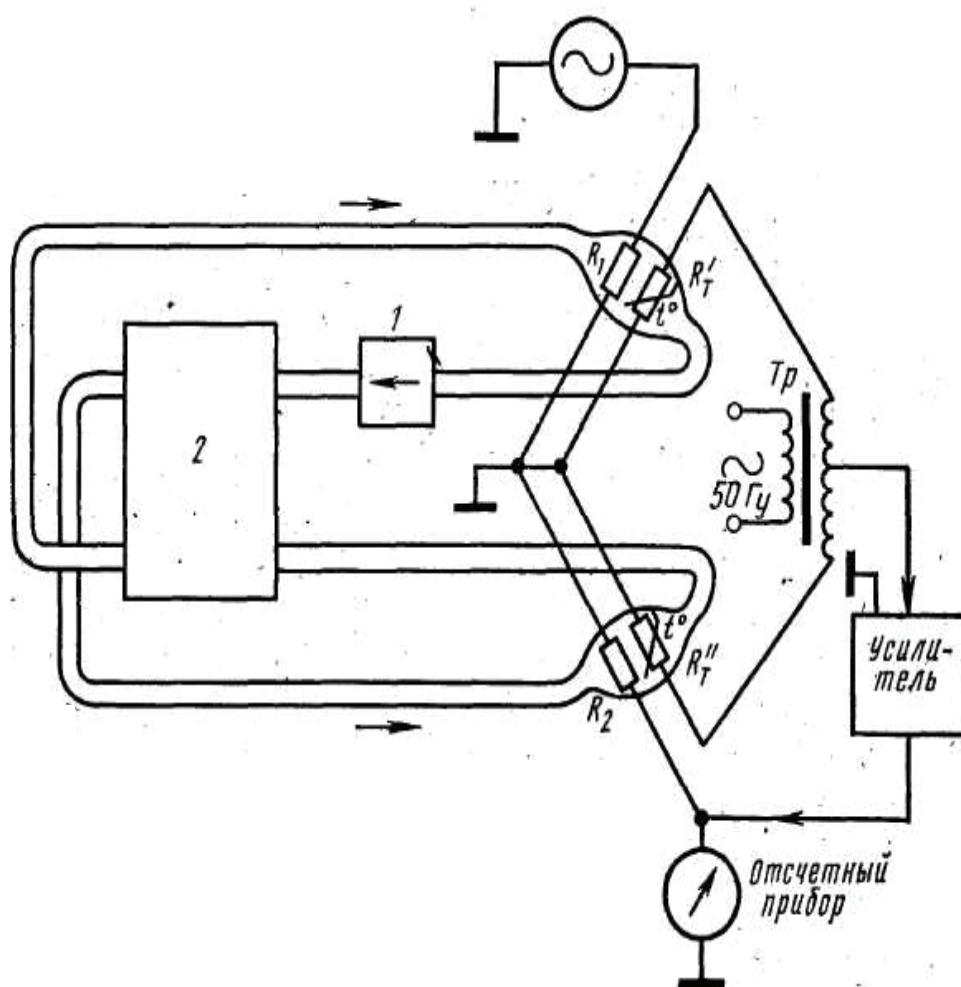


Рис. 2.9. Измерение мощности методом сравнения: 1 – насос, 2 – теплообменник

Дальнейшим усовершенствованием приборов является автоматизация измерений. Измеряемая мощность P_x рассеивается на согласованной нагрузке R_1 . Повышение температуры калориметрического тела воспринимает терморезистор R'_T , включенный в схему уравновешенного моста. Разная степень нагрева терморезисторов R'_T и R''_T вызовет нарушение исходного равновесия моста и появление низкочастотного напряжения рассогласования в нулевой точке вторичной обмотки трансформатора. Это напряжение после усиления по мощности поступает на резистор R и преобразуется в теплоту. Повышение температуры воспринимает терморезистор R''_T , после чего в мостовой цепи вновь устанавливается равновесие. Значение мощности тока низкой частоты, рассеиваемой на резисторе R_2 (при равновесии моста), равное P_x , регистрирует вольтметр, проградуированный в единицах мощности (рис. 2.9).

Ваттметр переменного тока ЦЛ8516, его назначение

Ваттметры предназначены для измерения силы переменного тока, напряжения переменного тока, активной мощности однофазного переменного тока.

Измеренное значение силы переменного тока и напряжения переменного тока пропорционально среднеквадратическому (действующему) значению.

Отображение измеряемых величин на цифровом индикаторе производится в единицах измеряемой величины: в амперах, вольтах, ваттах соответственно. Цифровой индикатор имеет пять значащих разрядов и десятичную запятую.

Режим переключения диапазонов измерений ваттметров – ручной.

Для связи с ЭВМ ваттметры имеют встроенный интерфейс RS-232.

В ваттметрах обеспечивается гальваническое разделение входных цепей и цепи питания.

Ваттметры могут применяться для поверки рабочих средств измерений – стрелочных и цифровых амперметров, вольтметров, ваттметров с допускаемой основной приведенной погрешностью, равной или более 0,5.

Рабочие условия

1. Ваттметры предназначены для эксплуатации в лабораторных условиях производственных помещений.

2. По устойчивости к климатическим воздействиям ваттметры относятся к группе В1 по ГОСТ 12997–84 и предназначены для эксплуатации при температуре от 10 до 35 °С и относительной влажности 75 % при температуре 35 °С.

3. По устойчивости к механическим воздействиям ваттметры относятся к виброустойчивым и вибропрочным, группа N1 по ГОСТ 12997–84.

4. Степень защиты по ГОСТ 14254–96 для ваттметров – IP2X.

5. Питание ваттметров осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В, частотой (50±2) Гц.

6. По степени защиты от поражения электрическим током ИП соответствует классу защиты II по ГОСТ 26104–89.

7. Ваттметры имеют электронную защиту от перегрузки.

8. В цепь питания ваттметры включают с помощью сетевого кабеля.

9. Ваттметры являются восстанавливаемыми, ремонтируемыми изделиями.

10. Ваттметры не предназначены для эксплуатации во взрывоопасных и пожароопасных зонах по ПУЭ.

Технические данные ваттметра ЦЛ8516

Ваттметр имеет встроенный интерфейс RS-232.

Диапазон изменений коэффициента мощности $\cos \varphi$ с нормируемой основной погрешностью от 1 до 0,2 для прямого и обратного направления измеряемой мощности.

Входное сопротивление ваттметров и мощность, потребляемая ваттметрами от измерительной цепи и от цепи питания, соответствуют значениям, приведенным в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Значения входного сопротивления и мощность ваттметров

Тип и конструктивное исполнение ваттметра	Входное сопротивление		Потребляемая мощность		
	Вход I , Ом, не более	Вход U , Ом, не менее	от измерительной цепи		от цепи питания
			Вход I , $B \times A$, не более	Вход U , $B \times A$, не более	$B \times A$ не более
ЦЛ8500/1	0,05	1×10^6	0,5	0,5	10
ЦЛ8500/2	0,01	1×10^6	1,0	0,5	10

Ваттметры в транспортной таре выдерживают без повреждений:
воздействие температуры от минус 50 до плюс 50 °С;

воздействие относительной влажности $(95 \pm 3) \%$ при температуре 35 °С.

Уровень промышленных радиопомех, создаваемых ваттметрами, не превышает значений, установленных в СТБ ГОСТ Р 51318.11–2001 для устройств группы 1, класса Б.

Габаритные размеры ваттметров (длина, ширина и высота) не более $300 \times 300 \times 150$ мм.

Масса ваттметров не более 5,0 кг.

Средняя наработка на отказ ваттметров с учетом технического обслуживания не менее 25 000 ч.

Средний срок службы ваттметров не менее 10 лет.

Передняя панель ваттметра ЦЛ8516/1 приведена на рис. 2.10.

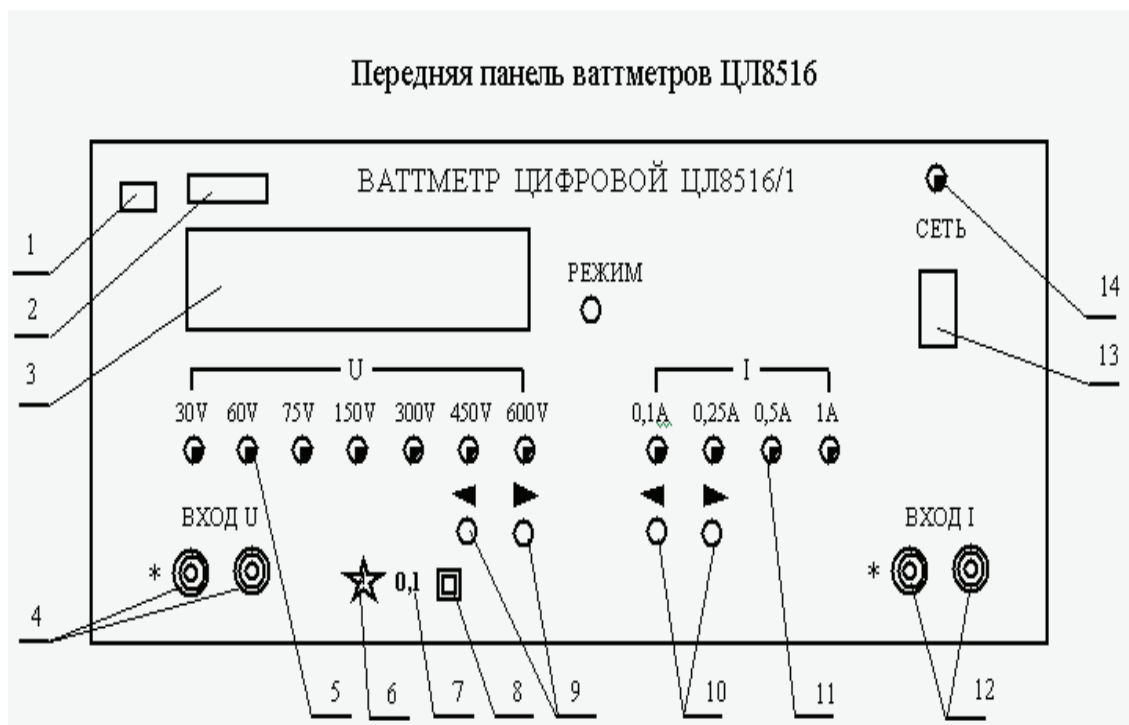


Рис. 2.10. Передняя панель ваттметра ЦЛ8516/1

На рисунке: 1 – место расположения знака Государственного реестра;

2 – место расположения товарного знака и наименования предприятия-изготовителя;

3 – цифровой индикатор;

4 – входные клеммы по напряжению;

5 – светодиоды индикации диапазонов измерений по напряжению (7 шт.);

- 6 – символ и величина испытательного напряжения изоляции;
- 7 – предел допускаемой основной погрешности;
- 8 – символ класса защиты II;
- 9 – кнопки переключения диапазонов измерений по напряжению;
- 10 – кнопки переключения диапазонов измерений по току;
- 11 – светодиоды индикации диапазонов измерений по току (4 шт.);
- 12 – входные зажимы по току;
- 13 – выключатель СЕТЬ;
- 14 – светодиод индикации сетевого питания.

2.2.3. Погрешность измерений ваттметра

Предел допускаемой основной приведенной погрешности (далее – основной погрешности) ваттметров равен $+0,1\%$ от нормирующего значения измеряемого сигнала для каждого из диапазонов измерений для режимов измерений тока, напряжения, мощности.

Время установления рабочего режима ваттметров после включения напряжения питания должно быть не более 0,5 ч.

Время непрерывной работы ваттметров не ограничено.

Ваттметры устойчивы к воздействию температуры окружающего воздуха от 10 до 35 °С.

Ваттметры работоспособны при изменении напряжения питания от 187 до 242 В.

Пределы допускаемых дополнительных приведенных погрешностей (далее – дополнительных погрешностей) ваттметров, вызванных изменением влияющих факторов от нормальных значений, в процентах от нормирующего значения измеряемого сигнала для каждого из диапазонов измерений по току, напряжению, мощности равны:

- $+0,1\%$ – при изменении температуры окружающего воздуха от (20 ± 2) °С до 10 и 35 °С на каждые 10 °С;
- $+0,1\%$ – при влиянии внешнего однородного магнитного поля переменного тока с частотой измеряемого сигнала 45–55 Гц при самом неблагоприятном направлении и фазе магнитного поля;
- $+0,1\%$ – при изменении частоты входного сигнала от (50 ± 1) Гц до 500 Гц;
- $+0,1\%$ – при изменении коэффициента мощности $\cos j$ от 1 до 0,2 для прямого и обратного направления мощности;

- +0,1 % – при изменении напряжения питания от номинального значения 220 В до 242 и 187 В;
- +0,1 % – при изменении напряжения измеряемой цепи от конечного значения каждого из диапазонов измерений до 0,2 конечного значения диапазона измерений – в режиме измерений мощности.

Вопросы для самопроверки

1. Измерение электрического тока и напряжения.
2. Осциллограф.
3. Измерение параметров элементов электрических цепей.
4. Измерение частоты электромагнитных колебаний.
5. Измерение фазового сдвига.
6. Измерение параметров электромагнитной совместимости.
7. Электрические измерения неэлектрических величин.

2.2.4. Универсальные средства измерений длин и углов

Штангенинструменты применяют для измерения линейных размеров, не требующих высокой точности, абсолютным методом.

К штангенинструментам общего назначения относятся: штангенциркуль, штангенрейсмус, штангенглубиномер (рис. 2.11). Измерение штангенинструментами основано на применении нониуса, который позволяет отсчитывать дробные деления основной шкалы. В настоящее время выпускают штангенинструменты с ценой деления нониуса 0,1, 0,05, 0,02 мм. Пределы измерения выпускаемых штангенинструментов: штангенциркулей – до 2000 мм; штангенглубиномеров – до 500 мм; штангенрейсмусов – до 1000 мм. Погрешность измерения штангенинструментами в диапазоне от 1 до 500 мм составляет от 50 до 200 мкм. Нониус представляет собой линейку со шкалой, по которой отсчитывают дробные деления основной шкалы. Рассчитывают нониус следующим образом: по заданной длине деления основной шкалы C , цене деления нониуса i , числу делений основной шкалы, соответствующему одному делению шкалы нониуса (модуль нониуса) γ , определяют число делений нониуса n , длину деления шкалы нониуса B и общую длину нониуса:

$$n = \frac{C}{i},$$

$$D = \gamma \cdot C - i,$$

$$l = nB = n(\gamma C - i).$$

Например, при $i = 0,05$ мм, $C = 1$ мм и $\gamma = 2$ $n = 1/0,05 = 20$, $B = 2(1 - 0,05) = 1,95$ мм, $l = 20 \cdot 1,95 = 39$ мм.

Отсчет измеряемой величины A с помощью штангенинструментов складывается из отсчета целых делений N по основной шкале и отсчета дробных делений D по шкале нониуса: $A = N + D$.

При нулевом положении нулевые штрихи основной и нониусной шкал совпадают. При этом последний штрих шкалы нониуса также совпадает со штрихом основной шкалы, определяющим длину шкалы нониуса l . При измерении шкала нониуса смещается относительно основной, и по положению нулевого штриха нониуса определяют величину этого смещения, равную измеряемой величине (N). Дробные деления определяют по совпадению какого-либо k -го штриха нониуса с любым штрихом основной шкалы. Тогда дробная часть измеряемой величины будет равна произведению количества штрихов шкалы нониуса от нулевого до k -го на цену деления шкалы нониуса i , т. е. значение измеряемой величины по шкале штангенинструментов $A = N + ki$.

Микрометрические измерительные инструменты основаны на использовании точной винтовой пары (винт-гайка), которая преобразует вращательные движения микровинта в поступательные. К микрометрическим инструментам относятся: микрометры, микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры. Микрометрические инструменты предназначены для абсолютно контактного метода измерения. Цена деления прибора 0,01 мм. Погрешность измерения зависит от пределов измерения микрометра и составляет от 3 мкм для микрометров 0–25 мм до 50 мкм для микрометров с пределами измерения 400–500 мм. Принцип микрометрической пары используется в конструкциях многих измерительных приборов.

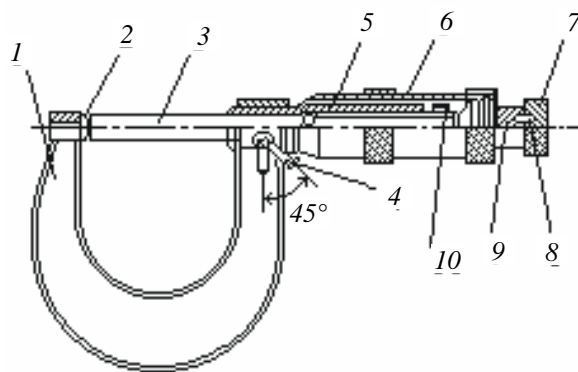


Рис. 2.11. Микрометр

Устройство микрометра. Общий вид микрометра показан на рис. 2.11. Корпусом инструмента служит скоба 1, в которую запрессованы с одной стороны пятка 2, с другой – стебель 5, на котором закреплена микрогайка и нанесена продольная шкала. Одной измерительной поверхностью является торец микрометрического винта 3, выдвигающегося из стебля, второй – торец пятки 2. Микровинт связан с корпусом барабана 6, имеющим на конусном конце круговую шкалу. Заканчивается барабан резьбой, на которую навинчивается гайка 9, являющаяся корпусом механизма трещетки. Основное назначение трещетки – обеспечивать постоянство измерительного усилия за счет храповика 7 и подпружиненного стержня 8. Микрометр снабжен устройством 4, позволяющим стопорить микровинт и гайкой 10 для регулировки зазора в паре микровинт – микрогайка.

Отсчет показаний микрометрических инструментов. Отсчетное устройство микрометрических инструментов состоит из двух шкал. Продольная шкала имеет два ряда штрихов с интервалом 1 мм, расположенных по обе стороны горизонтальной линии и смещенных относительно друг друга на 0,5 мм. Таким образом, оба ряда штрихов образуют одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм.

Микровинт связан с барабаном 6, который на конусном конце имеет круговую шкалу с числом делений $n = 50$. Учитывая, что шаг резьбы винтовой пары $S = 0,5$ мм, цена деления круговой шкалы (нониуса) микрометра $C = S/n = 0,5/50 = 0,01$ мм.

Размер измеряемой детали с точностью до 0,5 мм отсчитывают по шкале стебля указателем, которым является скошенный край барабана. Сотые доли миллиметра отсчитывают по круговой шкале барабана, указателем которой является продольный штрих на стебле микрометра.

Установка микрометра на нуль. Перед началом измерений микрометрическими инструментами производят их проверку и установку на нуль на начальном делении шкалы. Для микрометров с пределом измерений 0–25 мм – на нулевом делении шкалы, для микрометров с пределами измерений 25–50 мм – на делении 25 и т. д. Осторожно вращая микровинт за трещетку, приводят в соприкосновение измерительные поверхности микровинта и пятки. У микровинтов с пределом измерения 25–50, 50–75 и т. д. микровинт и пятка соединяются между собой через блок концевых мер длины размером 25, 50 мм и т. д. или через специально установочные цилиндрические меры, прилагаемые в комплект к микрометрам.

При указанном соприкосновении скошенный край барабана микрометра должен установиться так, чтобы штрих начального деления основной шкалы (0 или 25, 50 мм и т. д.) был полностью виден, а нулевое деление круговой шкалы барабана совпадало с продольной горизонтальной линией на стебле 5 (см. рис. 2.11). Если такого совпадения нет, то стопором 4 необходимо зафиксировать микровинт 3 и, придерживая барабан 6 за накатанный выступ, ослабить накидную гайку 9. Затем, поворачивая освобожденный корпус барабана, совмещают нулевое деление на барабане с горизонтальной линией на стебле 5 микрометра, и, придерживая корпус барабана за накатанный выступ, снова закрепляют барабан гайкой 9.

Следует иметь в виду, что при затягивании гайки 9 нулевая установка может снова нарушиться, поэтому нужно снова проверить ее и при необходимости исправить.

Установка микрометрического нутромера на нуль производится по специальной установочной скобе, которая входит в комплект прибора. Возможна установка и с помощью концевых мер длины.

Придерживая нутромер за гильзу и вращая барабан за накатное кольцо, выворачивают микрометрический винт до соприкосновения измерительных наконечников с поверхностями установочной скобы. Затем стопорят микровинт. Нулевой штрих горизонтальной линии основной шкалы должен быть виден полностью, скошенный край барабана должен касаться данного штриха, а нулевое деление барабана совпадать с горизонтальной линией основной шкалы. Наибольшими покачиваниями определяют, соответствует ли размер нутромера наименьшему расстоянию между поверхностями установочной скобы или концевых мер длины. Если нутромер между поверхностями скобы проходит туго, то микровинт отстопоривают и настройку повторяют. Настройку повторяют несколько раз для отыскания наименьшего расстояния между поверхностями установочной скобы (находят наименьшее показание нутромера). Если нутромер не установлен на нуль, то при застопоренном микровинте необходимо ослабить контргайку и отрегулировать установку барабана на нуль. После окончательной установки на нуль можно присоединить удлинительные трубки, при этом нулевая установка не нарушается.

Измерение микрометром и микрометрическим нутромером. При измерении микрометром (см. рис. 2.11) отводят измерительную поверхность микровинта 3, вращая барабан 6, на необходимое расстояние. Между микровинтом 3 и пяткой 2 помещают измеряемую деталь и при помощи барабана 6 со-

кращают зазор между измеряемой деталью и измерительными поверхностями до 1–2 мм. Окончательное соприкосновение измерительных поверхностей с деталью производят вращением трещетки 7 и снимают показания прибора.

При измерении микрометрическим нутромером его вводят в измеряемое отверстие и, отстопорив микровинт, вращением накатного кольца приводят измерительные наконечники прибора в соприкосновение со стенками отверстия и затем снова стопорят микровинт.

Измерение размера производят несколько раз, слегка покачивая нутромер в плоскости, проходящей через ось отверстия, отыскивая соответственно наибольший и наименьший размеры. После окончательной установки нутромер на размер стопорят микровинт и снимают показания.

2.2.5. Измерительные датчики

Тензометрический датчик. В основу его работы положен тензометрический эффект. Воздействие механических напряжений при работе технологического оборудования (изгиб датчика, растяжение, закручивание его) или ударное воздействие на металлический проводник приводит к деформационному изменению его сечения, что, в свою очередь, вызывает изменение сопротивления проводника. На металлический проводник, как отмечалось ранее, традиционно влияет окружающая среда, нагревая и охлаждая его, тем самым изменяя его электрическое сопротивление. Этот нежелательный момент приводит к искажению истинных значений контролируемого объекта. В процессе развития тензометрии применялись различные введения в металлический проводник тензодатчика (например, марганцевые добавки в состав металла проводника и целый ряд других, чтобы уменьшить температурное воздействие окружающей среды [2]). Кроме того, исследования в разных странах мира поведения полупроводниковых материалов (галлий, кремний, германий и др.) показали, что при механических воздействиях на них их электрическое сопротивление изменяется на порядок больше, чем металлического проводника.

Конструктивное исполнение. Разработанный в нашей стране чувствительный тензометрический элемент представляет собой металлическую чувствительную мембрану на основе легирующих сталей, на поверхности которой методом термической обработки создается прочное соединение металлической мембраны с выращенной искусственно монокристаллической

сапфировой пластиной толщиной 0,1–0,15 мм. В итоге получается механический деформационный чувствительный элемент. На сапфировой поверхности в определенных местах устанавливают кремниевые полупроводниковые резисторы, соединенные по схеме электрического моста, в котором все элементы принимают активное участие (например, в электрических мостах, работающих с термопреобразователями сопротивления, изменение своего сопротивления в зависимости от температуры измеряемой среды производит только один термопреобразователь сопротивления; другие элементы электрического моста не изменяют своего сопротивления), и, как видно, при изгибе чувствительной мембраны резисторы либо увеличивают сопротивление, либо уменьшают его.

В результате вырабатывается выходной электрический сигнал, пропорциональный импульсу давления на мембрану. Применение сапфировой подложки (пластины) позволило термостатировать процесс работы тензометрического электрического моста и тем самым свести к минимуму температурную ошибку, что в итоге позволило получить новые измерительные системы высокого класса точности и значительного быстродействия [2].

2.2.6. Дифференциально-трансформаторная система

Дифференциально-трансформаторная система, преобразующая неэлектрический сигнал (параметр давления в электрический), состоит из пружины Бурдона, индукционной катушки, перемещающегося в ней металлического плунжера, который отслеживает изменения движения свободного конца пружины Бурдона в зависимости от поступающего импульса давления P .

По первичной обмотке катушки протекает переменный ток, ток возбуждения, который создает магнитный поток. Вторичная обмотка индукционной катушки состоит из двух секционных и встречно включенных малых обмоток [3]. Когда нет входного импульса давления и плунжер находится в среднем положении относительно вторичных обмоток, то за счет встречных потоков магнитных на выходе датчика отсутствует сигнал. Когда же появляется входной параметр давления, плунжер от среднего положения перемещается вверх на величину поступившего сигнала. Плунжер, входя в секцию вторичной обмотки, увеличивает ее индуктивность, уходя из секции, уменьшает ее индуктивность. В результате напряжения в секциях имеют разную величину и за счет встречного включения этих секций на выходе имеется разностный сигнал $U_{\text{разн}}$ переменного напряжения, пропорциональный входному параметру давления.

В силу определенных причин, здесь не рассматриваемых, за основу выходного сигнала берется не напряженческий характер, а взаимная индуктивность между первичной обмоткой катушки и вторичной и выражается в МГн. Соответственно выходной сигнал составляет от 0 до 10 МГн, что соответствует нулевому и максимальному значению технологического параметра давления для данной измерительной системы.

Применение резисторной цепочки в цепи вторичной обмотки датчика дифференциально трансформаторной схемы позволило унифицировать датчики и сделать их взаимозаменяемыми.

Далее сигнал с выхода датчика поступает на вторичный прибор и там реализуется в общепринятый информационный материал (значение массы) [4].

Рассматривая достоинства и недостатки дифтрансформаторных преобразователей, можно сказать, что они просты по устройству, надежны в работе, имеют довольно малую погрешность в измерении. Однако есть недостатки, заключающиеся в том, что к первичному преобразователю можно подключить только один вторичный прибор. При использовании информационно-вычислительных и управляющих машин требуется индукционный сигнал датчика преобразовывать в токовый через дополнительный нормирующий преобразователь, кроме того, система дистанционной передачи с дифтрансформаторной схемой, как и все системы пердач на переменном токе, подвержена влиянию внешних магнитных полей и соседних линий связи (при совместной прокладке в одном кабеле), это приводит к появлению дополнительной погрешности измерений. Однако указанные недостатки при отсутствии более совершенных систем измерения (о них речь пойдет далее) не помешали применению дифтрансформаторных схем на всех трех энергоблоках Смоленской АЭС (на третьем блоке они нашли меньшее применение в связи с внедрением частично тензометрических преобразователей). По-прежнему в промышленности России за счет низкой цены дифтрансформаторные схемы измерения находят массовое применение при измерениях массы, давлений, расходов, уровней сред.

Вопросы для самопроверки

1. Измерение геометрических размеров.
2. Измерение шероховатости поверхности.
3. Особенности измерения геометрических размеров в изделиях радиоэлектронной и электронной техники, обусловленные современными тенденциями их конструирования и производства.
4. Нормальные условия проведения линейных и угловых измерений.

2.3. Поверка и аттестация СИ

Важнейшей формой государственного надзора за измерительной техникой является поверка средств измерений, служащая для установления их метрологической исправности.

Средства измерений подвергают первичной, периодической, внеочередной и инспекционной поверкам.

Первичную поверку проводят при выпуске средств измерений в обращение из производства или ремонта.

Периодическую поверку осуществляют при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы, установленные с расчетом обеспечения метрологической исправности средств измерений на период между поверками.

Если необходимо удостовериться в исправности средств измерений при проведении работ по корректированию межповерочных интервалов, при повреждении поверительного клейма, пломбы или утраты документов, подтверждающих прохождение средством измерения периодической поверки, а также в ряде других случаев, проводят *внеочередную поверку* средств измерений, причем сроки ее проведения назначают независимо от сроков периодических поверок.

Инспекционную поверку проводят для выявления метрологической исправности средств измерений, находящихся в обращении; при проведении метрологической ревизии в организациях, на предприятиях и базах снабжения.

Согласно статье 13 «Закона об обеспечении единства измерений» обязательная государственная поверка, осуществляемая с целью соблюдения метрологических правил и норм, распространяется:

- на торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом;
- государственные учетные операции;
- обеспечение обороны государства;
- геодезические и гидрометеорологические работы;
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- обязательную сертификацию продукции и услуг;

- измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;

- регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Так, к средствам измерений, подлежащим обязательной государственной поверке, относятся: весоизмерительные приборы, расходомеры, счетчики электроэнергии, газа, нефтепродуктов и воды, топливо- и маслораздаточные колонки и ряд других приборов, применяемых для учета и в торговле; шумомеры; дозиметры; рентгенометры и тонометры, медицинские термометры и другие приборы, служащие для охраны здоровья трудящихся; радиометры, измерители напряженности поля СВЧ, газоанализаторы и другие измерительные приборы, обеспечивающие безопасность работ, и т. п.

Начальный межповерочный интервал устанавливается при государственных испытаниях средств измерений.

Поверка средств измерений должна осуществляться в соответствии с действующими государственными стандартами на поверочные схемы, методы и средства поверки. Положительные результаты поверки удостоверяются: нанесением на средства измерений поверительного клейма установленного образца; выдачей свидетельства о поверке.

Метрологическая ревизия заключается в проверке состояния средств измерений и выполнении правил их поверки. Результаты метрологической ревизии оформляют актом, содержащим конкретные результаты проверки, а также предложения по изъятию средств измерений, признанных непригодными к применению, и по устранению обнаруженных недостатков с указанием сроков.

3. ОСНОВЫ КВАЛИМЕТРИИ

В философии существует понятие **квантификация** (от лат. *quantum* – сколько и греч. *φάτιο* – делаю) – количественное выражение качественных признаков; приписывание оценок (в том числе числовых) выражениям формальной системы. Формирование квалиметрии как отрасли науки, реализующей методы количественной оценки качества, началось относительно недавно.

Квалиметрия (от лат. *qualis* – какой по качеству и греч. *μετρον* – мера) – отрасль науки, изучающая диалектическое единство качественных и количественных характеристик объекта и реализующая методы количественной оценки качества; методологию и проблематику комплексного количественного оценивания качества объектов любой природы (одушевленных или неодушевленных, предметов или процессов, продуктов труда или продуктов природы), имеющих материальный или духовный характер, искусственное или естественное происхождение.

История зарождения и развития квалиметрии насчитывает не один десяток лет, причем ее развитие началось задолго до того, как она получила свое название. Термин «квалиметрия» был предложен в СССР в 1968 г. группой научных сотрудников во главе с Г. Г. Азгальдовым. Это обусловлено в первую очередь тем, что результат любой деятельности должен обладать требуемой совокупностью свойств и, как следствие, совокупностью показателей этих свойств, требования к которым должны быть закреплены соответствующим документом. Основная задача квалиметрии – определение номенклатуры показателей качества, подлежащих включению в документацию на продукцию, работу или услугу, с целью их последующего контроля. Можно считать, что этот аспект квалиметрии возник одновременно с возникновением практики нормирования показателей качества, и в нашей стране момент его возникновения можно увязать с 1923 г. – годом начала выпуска первого в нашей стране периодического издания по стандартизации – Бюллетеня Комитета эталонов и стандартов. Сам этот комитет был создан в 1922 г. при Главной палате мер и весов, ныне Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д. И. Менделеева (ВНИИМ), г. Санкт-Петербург.

Важный аспект квалиметрии – априорная оценка качества – получил свое развитие в связи с ростом сложности техники и ответственности выполняемых ею функций. Стало очевидно, что поиск наиболее выгодного решения при разработке новой продукции следует начинать на самой ранней стадии ее жизненного цикла. А для этого необходимо иметь соответствующие расчет-

ные методики. Одним из первых практических примеров решения подобной квалитетической задачи можно считать результаты исследований, полученные в 1930 г. немецким доктором-инженером К. Комментц, установившим для кораблей, предназначенных для мелководья, что всякое уменьшение осадки судов на 1 % приводит к повышению цены на 0,6 %, несколько более сложным у него оказалось влияние вместимости судна и других параметров качества. Было составлено много таблиц, графиков, позволяющих на основе параметров качества обосновывать и прогнозировать цены. В голландском журнале «International shipbuilding progress» (1957 г. № 7) на основании дальнейших исследований были опубликованы поправки к индексу цен в зависимости от параметров качества судов.

Особое внимание стали уделять методам расчетной оценки качества в связи с повсеместным введением процедур аттестации и сертификации качества продукции. При проведении аттестации необходимо осуществлять сопоставление оцениваемой продукции с отечественными и зарубежными аналогами, для чего необходимо иметь соответствующие методики.

В первой половине XX в. значительное внимание привлекла к себе проблема обеспечения надежности технических устройств. Она вызвала бурное развитие методов оценки надежности, для которой на начальном этапе единственно приемлемым оказался математический аппарат теории вероятностей. Это является важным не только для объектов, отказы которых недопустимы из-за катастрофических последствий, но и для объектов, применяемых в других, менее опасных для человека и окружающей среды сферах деятельности.

Объединение различных методов решения задач по оценке качества различных объектов в одну область знаний, названную квалитетикой, потребовало унификации основных понятий и определений. Для этого была создана Международная организация по стандартизации (ИСО). Стандарты ИСО охватывают почти все области техники, кроме областей, относящихся к ведению созданной ранее Международной электротехнической комиссии (МЭК). В стандарте ИСО 9000-1 применительно к производственной сфере определены четыре ключевых аспекта качества, обусловленного: 1) определением спроса на продукцию; 2) проектированием продукции; 3) соответствием проектным решениям; 4) поддержанием параметров продукции на всех стадиях ее жизненного цикла. Два последних аспекта имеют непосредственное отношение к квалитетике.

В отечественной практике создан большой комплекс межотраслевых нормативных и методических документов, устанавливающих единую терминологию, содержащих рекомендации по решению различных задач квалитетии. Наиболее важными из них являются следующие:

ГОСТ 13 377–67 «Надежность в технике. Термины и определения».

ГОСТ 15 467–70 «Качество продукции. Термины».

ГОСТ 17 341–71 «Качество продукции. Основные понятия управления. Термины и определения».

РД 50-149–79 «Методические указания по оценке технического уровня и качества промышленной продукции».

РД 50-64–84 «Методические указания по разработке государственных стандартов, устанавливающих номенклатуру показателей качества групп однородной продукции».

На основе этих документов было разработано около тысячи стандартов «Системы показателей качества продукции», являющихся квалитметрической основой регламентации качества продукции в нормативной документации.

Развитие квалитметрии в условиях рынка обусловлено жесткой конкуренцией, стремлением фирм-производителей продукции в максимальной степени удовлетворить потребности потребителей, чтобы обеспечить сбыт своей продукции и максимальную прибыль. Это заставляет разработчиков анализировать продукцию конкурентов, что невозможно сделать без соответствующих методик оценки. Во многих странах, например в США, предпроектная оценка качества продукции является одним из общепризнанных принципов обеспечения качества. Вопросы квалитметрии начиная с 1971 г. регулярно обсуждаются на международных конференциях Европейской организации по контролю качества.

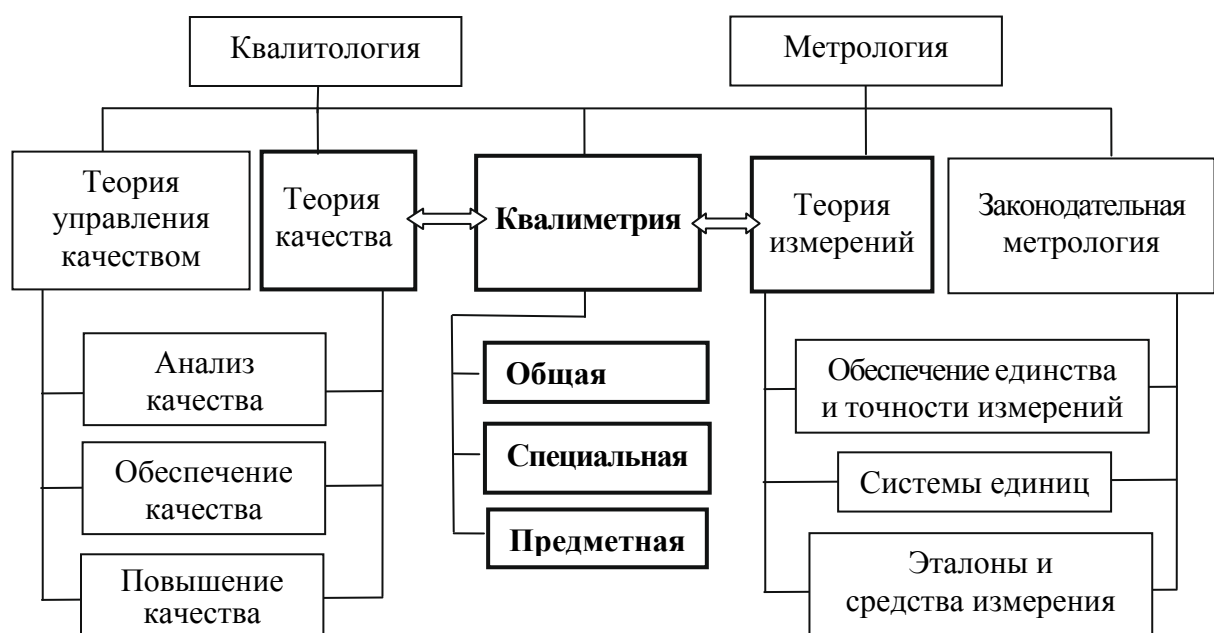


Рис. 3.1. Проблематика квалитметрии

Квалиметрия возникла на стыке двух наук: метрологии и квалитологии – науки о качестве (рис. 3.1). Основная цель квалиметрии – обеспечение единства, эффективности и надёжности оценки качества объектов (создаваемых, используемых, влияющих на субъект). Предмет квалиметрии – исследование взаимосвязанной системы методов количественного и не количественного оценивания качества (удачная – неудачная компоновка, приятный – неприятный цвет, эффективное – неэффективное решение проблемы и т. д.). Квалиметрия – это методология и методика регламентации показателей качества в нормативной документации, оценки уровня качества и контроля качества в процессе приемо-сдаточных сертификационных испытаний.

3.1. Основные понятия и определения

Качество – понятие, выражающее неотделимую от объекта его существенную определенность, благодаря которой он является именно этим, а не иным объектом. Качество отражает устойчивое взаимоотношение составных элементов объекта, которое характеризует его специфику, дающую возможность отличать один объект от других. Именно благодаря качеству каждый объект существует как нечто отграниченное от других объектов. Вместе с тем качество выражает и то общее, что характеризует весь класс однородных объектов.

Категория «качество» была проанализирована Аристотелем, который определил её как видовое отличие сущности. Гегель рассматривал качество как категорию, составляющую *начальную ступень познания* вещей и становления мира, как непосредственную характеристику бытия объекта. Наука исходит из признания *объективности* и всеобщности качественной определенности вещей. Существуют не качества, а только вещи, обладающие качествами, и притом *бесконечно многими* качествами. Качество объекта обнаруживается в совокупности его свойств и не сводится к отдельным его свойствам. Оно выражает целостную характеристику *функционального единства существенных свойств* объекта, его внутренней и внешней определенности, относительной устойчивости, его отличия от других объектов или сходства с ними.

Свойство – понятие, выражающее такую сторону предмета, которая обуславливает его общность или различие с другими предметами и обнаруживается в его отношении к ним. Под свойством понимается способ проявления определённой стороны качества объекта по отношению к другим объектам, с которыми он вступает во взаимодействие. Всякое свойство относи-

тельно. Различие свойств во многом определяет дифференциацию наук. При этом было отмечено, что объект не состоит из свойств, не является своего рода «пучком свойств», а обладает ими. Бесконечное многообразие свойств в квалиметрии подразделяют на два вида: 1) обладающие в предмете определённой интенсивностью (область интересов – естественные науки и метрология); не обладающие интенсивностью (предмет изучения гуманитарных наук и квалитологии). Развитие науки в целом и квалиметрии в частности направлено на преодоление этого различия. Наглядный пример такого преодоления не сложно отыскать в самой метрологии при решении важнейших, насущных проблем, например проблемы обеспечения единства измерений (тождественность результатов измерения во времени, пространстве, меняющихся внешних условиях и т. д.). Одно из проявлений качества метрологического обеспечения – бесконечное многообразие свойств (рис. 3.2).

Категория «качество» выражает определённую ступень познания человеком объективной реальности. На начальном этапе познания объект исследования выступает перед субъектом прежде всего каким-либо отдельным свойством или множеством свойств. В человеческом сознании сначала накапливаются впечатления, затем выделяется нечто, определяемое как «знание предмета», потом развиваются понятия качества (определения вещи или явления) и количества. Познание идёт от качества к *количеству* и далее к их единству – *мере*. Любой предмет представляет собой единство качества и количества.

Сущность и явление – философские категории. *Сущность* – это внутреннее (истинное) содержание предмета, выражающееся в единстве всех его многообразных свойств и отношений; *явление* – то или иное обнаружение предмета, внешней (действительной) формы его существования. Тождество сущности и явления недостижимо.

Количество – понятие, отображающее общее и единое в вещах и явлениях, характеризующее их с точки зрения относительного безразличия к конкретному содержанию и качественной природе. Поскольку количественное сравнение становится возможным только после качественного познания предметов, исследование количественных отношений связано с процессом абстрагирования. Первые попытки специального анализа проблемы количества восходят к пифагорейцам и связаны с изучением природы чисел и их применением для познания мира. Количество как особую категорию рассматривал Аристотель: «...Всякое количество есть множество, если оно исчислимо, а *величина* – если измеримо».



Рис. 3.2. Государственная функция обеспечения единства измерений

Впоследствии Декарт, Ньютон и Лейбниц развивали более общее представление о количестве, включая в это понятие не только постоянные, но и переменные величины, а также отношения порядка и сравнения. Взаимосвязь количества и качества и их различие выявил Гегель: «...если при изменении качества происходит превращение данной вещи в другую вещь, то количественное изменение в известных границах не вызывает подобного превращения».

Количество рассматривается, прежде всего, в связи с объективной характеристикой реально общих, однородных и единых моментов, присущих различным по своей качественной природе вещам. Различные вещи становятся количественно сравнимыми лишь после того, как они сведены к одному и тому же единству. Только как выражения одного и того же единства они являются одноименными, и следовательно, сравнимыми величинами. Развитие физики связано с приближением к таким однородным и простым элементам материи, законы движения которых допускают математическую обработку. Подобная математическая обработка связана с абстрагированием общего и однородного в исследуемых вещах и явлениях; именно поэтому математику нередко определяют как науку об абстрактных структурах.

С целью установления количественной определённости предмета сравнивают составляющие его элементы – пространственные размеры, скорость изменения, степень развития – с определённым эталоном (мерой) как единицей измерения. Чем сложнее явление, тем труднее его подвергнуть изучению количественными методами (например, явления в сфере нравственности, политики, эстетического восприятия мира и т. п.); в этих случаях часто прибегают к различного рода шкалам (см. параграф 1.1.2). Процесс познания реального мира как исторически, так и логически совершается таким образом, что познание качества предшествует познанию количественных отношений. Наука движется от качественных оценок и описаний явлений к установлению количественных закономерностей; опираясь на последние, квалиметрия получает возможность глубже исследовать качество.

Последнее утверждение можно проиллюстрировать примером измерения «качества» поверхности. На определённом этапе развития техники и технологии возникла острая потребность оценивания качества поверхности, точнее геометрических свойств рельефа. При описании геометрических характеристик поверхности изначально использовалась шкала наименований естественного языка: поверхность зеркальная, матовая, гладкая, ..., шершавая, волнистая и т. п.

Поскольку при большом и/или нефиксированном числе классов их конкретизация упрощается и облегчается, если обозначения вводятся иерархически, то задача сводится к разбиению всего множества на конечное число подмножеств, искусственно образуя тем самым классы эквивалентности. Для оценки геометрических свойств поверхности использовалось 14 классов «чистоты». Из-за отсутствия измерительных средств принадлежность поверхности к какому-либо классу определялась «на глаз». В производственной практике для этого широко использовались наборы деталей-образцов шероховатости поверхности. Однако условность введенных классов постоянно проявлялась на практике в виде существенного разброса субъективных оценок. Метрологическая экспертиза показала, что погрешность такого метода оценки качества поверхности $\leq 50\%$. Появление оптических, механических, затем электронных приборов для измерения геометрических характеристик поверхности позволило из бесконечного многообразия свойств поверхности, обладающих определённой интенсивностью, регистрировать наиболее значимые, в виде объективных, количественных оценок, в более сильных шкалах. Основной, значимой характеристикой был определён геометрический профиль измеряемой поверхности. На смену классам шероховатости пришёл набор параметров, однозначно определяемый геометрическим профилем, закреплённый отечественным стандартом ГОСТ 25-143–82. Стандарт определяет

три группы параметров шероховатости, связанные с высотными свойствами неровностей (10 параметров); со свойствами неровностей вдоль поверхности (9 параметров); определяемые формой неровностей профиля (5 параметров). Эти параметры в значительной степени обеспечивают потребности практики, определяются с погрешностью $\leq 10\%$ (контактные профилографы-профилометры), но при создании новых средств измерения, реализующих иные принципы первичного преобразования, возникают значительные осложнения в интерпретации результатов с помощью регламентированного ранее набора параметров. Расширяющие потребности производства и новые технологии инициируют процессы формирования принципиально новых способов описания (новое качество) поверхностей, связанных со свойствами изделий, так как с помощью известных параметров указанная задача не находит решения.

В инженерии электронных средств продолжается процесс миниатюризации элементной базы. Благодаря нанотехнологиям отмечен быстрый рост емкости накопителей информации и соответственно плотности записи. По данным компании IBM, поверхностная плотность записи на жесткие магнитные диски увеличилась с 15 Мб/см^2 в начале 1990-х гг. до $3,0 \text{ Гб/см}^2$ в современных массовых винчестерах и продолжает неуклонно расти. При такой плотности магнитной записи размеры одного бита составляют всего $0,052 \text{ мкм}$ в длину и $0,62 \text{ мкм}$ в ширину. Появляются новые технологии оптической записи информации. Так, диски Blu-Ray имеют длину одного бита $0,138 \text{ мкм}$. Настоящим прорывом в плотности записи информации может стать анонсированная все той же IBM технология Millipede. Она обещает довести плотность записи до 150 Гб/см^2 . Диаметр ячейки хранения составит в этом случае всего 10 нм .

Новые технологии с переходом в область нанометровых масштабов потребовали соответствующего диагностического инструментария, позволяющего обеспечивать контроль и диагностику параметров рабочих поверхностей элементов нанoeлектроники. Методы сканирующей микроскопии позволяют работать с атомарными разрешениями, обеспечивая высокую точность измерений. Поэтому неудивительно, что в настоящее время они широко используются для диагностики поверхностей, в том числе и рабочих поверхностей носителей записи.

В рассмотренном примере, как и во многих задачах квалиметрии, число объектов N и число признаков n велико, так что произведение $n \times N$ достигает нескольких десятичных порядков. В настоящее время применение ЭВМ существенно расширяет количественные возможности обработки данных, но возрастают потребности исследователей при создании моделей более высокого качества и «проклятие размерности» остается в силе и для ЭВМ. Для нако-

пителя информации ёмкостью 1,0 Гб протокол (топограмма) с результатами «тотального» контроля качества рабочей поверхности будет иметь объём десятки терабайт.

В результате во многих областях науки и техники практическая метрология, главной целью которой является создание и эффективное использование различных средств измерения, методик выполнения измерений, применяемых прежде всего в производстве; получение достоверной, научно обоснованной информации о реальности, приближается к своему теоретическому пределу по точности и информативности измеряемых параметров.

Вновь необходимо отметить, что метрология ориентирована на получение истинной (действительной) информации о реальности, но понятия «метрология» и «истина» нетождественны. Истинное знание всегда неизмеримо, так как сочетает в себе количественные и качественные показатели. Оно накоплено в самых разных сферах деятельности людей: в обыденной жизни, экономике, политике, искусстве, в инженерном деле. В отличие от метрологии получение знаний о реальности, до определенного момента, не является главной, определяющей целью этих сфер деятельности (в искусстве, например, главная цель – новые художественные ценности; в инженерном деле – технологии³, изобретения; в экономике – эффективность и т. д.).

Важно отметить, что термин «неизмеримо» не предполагает негативную оценку. Метрологическая деятельность специфична. Другие сферы деятельности человека – обыденная жизнь, искусство, экономика, политика и др. – имеют каждая свое предназначение, свои цели. Роль метрологии в жизни общества очень важна, но метрологическое обеспечение не всегда и не везде возможно и уместно. Квалиметрия призвана расширить границы метрологического обеспечения, в том числе и в первую очередь в производственной сфере.

Дальнейшее совершенствование методов и средств метрологического обеспечения в рамках стандартных подходов (повышение точности и разрешающей способности, создание и совершенствование эталонов, средств и методов передачи параметров, поверки и аттестации), как правило, экономически нецелесообразно и технически бесперспективно. Неизбежен обусловленный диалектикой закономерный переход от регистрации множества конкретных количественных параметров, взаимосвязь которых с качеством объек-

³ **Технология** (от греч. *τεχνη* – искусство, мастерство, умение и *λογος* – учение), дословно учение об искусстве (мастерстве); совокупность методов и операций добычи, обработки, изготовления, изменения состояния, свойств, формы материала или полуфабриката, транспортировки, хранения, контроля, являющаяся частью общего производственного процесса; научная дисциплина, изучающая физические, химические, механические и другие закономерности, действующие в технологических процессах.

тов квалиметрии установить не удастся, к новым, комплексным (качественным) характеристикам, отражающим результаты. Спираль развития формирует очередной виток.

Количество находится в единстве с качественной определённой явлений, вещей, процессов; это единство составляет их меру. Изменение количественной определённости вещей в границах меры не затрагивает их качества. За этими пределами количественные изменения сопровождаются изменением качества и меры.

Общая квалиметрия – наука, связанная с решением общетеоретических проблем: система понятий (терминология); теория оценивания (законы и методы); аксиоматика квалиметрии (аксиомы и правила); теория квалиметрического шкалирования (в т. ч. ранжирование, весомость).

Специальная квалиметрия – наука, рассматривающая модели и алгоритмы оценки, точность и достоверность оценок: экспертная квалиметрия; квалиметрическая таксономия⁴; вероятностно-статистическая квалиметрия (методы оценки на основе теории вероятностей и математической статистики); индексная квалиметрия (использование теорий индексов в оценке качества).

Предметная квалиметрия – наука, связанная с предметом (объектом) оценивания: квалиметрия продукции и техники; квалиметрия труда и деятельности; квалиметрия решений и проектов; квалиметрия процессов; квалиметрия спроса; психометрия; субъектная квалиметрия; социометрия; эконометрия; квалиметрия информации и др.

Определены основные статусы⁵ квалиметрии как науки.

Экономический статус обусловлен политэкономическим содержанием категории качества в ее взаимодействии с потребительной стоимостью и ценой. Квалиметрия включает в себя методы эконометрии как теории измерения экономических свойств объектов и процессов (иначе – экономическая квалиметрия).



Рис. 3.3. Структура квалиметрии

⁴ **Таксономия** – от греч. ταξις – расположение, строй, порядок; νόμος – закон. Таксономия – теория классификации и систематизации сложноорганизованных объектов, имеющих обычно иерархическое строение (классификация и систематизация показателей и свойств, объектов оценки и т. д.).

⁵ **Статус** (лат.) – положение, состояние.

Технико-экономический статус отражает ее направленность на комплексные оценки экономических и технических свойств объектов и процессов, включает интегральные, технико-экономические показатели, технико-экономические уровни и т. д.

Общенаучный статус определяется философско-методологической и общенаучной функциями категории качества.

Систематический статус определяет ее как системологическую теорию. Это связано с тем, что категория качества имеет аспекты структурности, динамичности, определенности, упорядоченности, т. е. все основные признаки системы. Возможен системный подход и к оценке, и к анализу, и к управлению.

3.2. Показатели качества

В квалиметрии наряду с рассмотренными выше применяется ряд специальных терминов, требующих однозначного толкования. Терминология и общие понятия в области оценки качества регламентированы в стандарте международной организации по стандартизации ИСО 8402–94 «Управление качеством и обеспечение качества. Словарь». Дано следующее определение понятия «качество». **Качество** – совокупность характеристик объекта, относящихся к его способности удовлетворить установленные и предполагаемые потребности.

ГОСТ 15467–79 «Качество продукции. Термины»:

Качество продукции (услуги) – совокупность свойств продукции (услуги), обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением.

Свойство продукции (услуги) – объективная особенность продукции (услуги), проявляющаяся при ее создании, эксплуатации, использовании по назначению или потреблении (оказание услуги). Например: точность, надежность, своевременная поставка и т. д.

Для объективной оценки качества объекта необходимо охарактеризовать его свойства количественно. Для этого в дополнение к терминам, используемым в метрологической практике (физическая величина, измеряемый параметр), введено понятие **показатель качества** – количественная характеристика свойства объекта, входящего в состав его качества, рассматриваемая применительно к определенным условиям жизненного цикла объекта для продукции – к определенным условиям ее создания, эксплуатации или потребления; для услуги – к определенным условиям ее разработки; для процесса – к определенным условиям его подготовки и проведения.

Показатели качества объектов по количеству характеризующих свойств могут быть единичными и комплексными. **Единичный показатель качества** – показатель качества, относящийся только к одному из свойств объекта. Например: коэффициент нелинейных искажений характеризует линейность; вероятность безотказной работы – безотказность; средний срок хранения – сохраняемость и т. д. **Комплексный показатель качества** – показатель качества объекта, относящийся к нескольким его свойствам. При любом измерении нужен эталон сравнения (метр, килограмм и т. д.). Для этого в квалиметрии используется **базовый показатель качества** – показатель качества объекта, принятый за эталон при сравнительных оценках качества. Базовые показатели также могут быть единичными и комплексными. Показатели качества – это, как правило, безразмерные величины, выражающие отношение показателя качества оцениваемого объекта к базовому показателю качества (**относительный показатель качества**).

Комплексный показатель качества позволяет в целом охарактеризовать качество объекта или группу его свойств. Например, коэффициент готовности позволяет одновременно охарактеризовать и безотказность, и ремонтпригодность изделия:

$$K_2 = \frac{T}{T + T_{\text{в}}},$$

где T – средняя наработка на отказ; $T_{\text{в}}$ – среднее время восстановления (математическое ожидание времени восстановления).

Пусть циклы работы изделия:

$$\begin{array}{c|c|c|c|c|c|} t_1 & t_{\text{в}1} & t_2 & t_{\text{в}2} & t_3 & t_{\text{в}3} \\ \hline 10 \text{ ч} & 1 \text{ ч} & 12 \text{ ч} & 2 \text{ ч} & 20 \text{ ч} & 3 \text{ ч} \end{array},$$

тогда средняя наработка на отказ $T = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{3} = \frac{42}{3} = 14$ часов,

среднее время восстановления $T_{\text{в}} = \frac{t_{\text{в}1} + t_{\text{в}2} + t_{\text{в}3}}{3} = \frac{6}{3} = 2$ часа,

следовательно, $K_2 = 0,875$ – вероятность того, что изделие в любой момент времени будет работоспособно. Это пример так называемого группового комплексного показателя качества, т. е. показателя качества, относящегося к группе свойств объекта.

Разновидностью комплексного показателя качества является **интегральный** – комплексный показатель качества, отражающий отношение суммарного полезного эффекта от использования объекта по назначению (П) к затратам на создание и использование объекта по назначению:

$$И = \frac{П}{З_c + З_{ин}},$$

где П – суммарный полезный эффект; $З_c$ – затраты на создание; $З_{ин}$ – затраты на использование по назначению.

Пример. Радиолокационные станции № 1 и № 2 имеют одинаковые параметры, кроме тех, которые приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1

Параметры станций

Параметры	Станция № 1	Станция № 2
Суммарное время работы до капитального ремонта	20000 ч	80000 ч
Стоимость	30 млн руб.	160 млн руб.
Затраты на эксплуатацию	60 млн руб.	170 млн руб.
Интегральные показатели	$И_1 = 2,2 \times 10^{-4}$	$И_2 = 2,4 \times 10^{-4}$

Обобщенный показатель качества – показатель качества, относящийся к такой совокупности свойств объекта, по которой принято решение оценивать его качество в целом (рис. 3.4). Как правило, это так называемые существенные свойства.



Рис. 3.4. Классификация показателей качества

Методы оценки качества многообразны. Ранее отмечалось, что это область специальных квалиметрий, рассматривающих модели и специальные информационные технологии (в относительно простых случаях алгоритмы) оценки, точности и достоверности оценок. Измерение качества – это информационно-технологическая (алгоритмическая) операция, которая данному наблюдаемому состоянию объекта, процесса, явления ставит в соответствие определенное обозначение: число, номер или символ. Такое соответствие обес-

печивает то, что результаты измерений содержат информацию о наблюдавшемся объекте; количество же информации зависит от степени полноты модели и алгоритма оценивания. Нужная информация получается из результатов измерения с помощью обработки экспериментальных данных.

Совершенно ясно, что чем теснее соответствие между состояниями и их обозначениями, тем больше информации можно извлечь в результате обработки данных. Менее очевидно, что степень этого соответствия зависит не только от организации измерений (т. е. от экспериментатора), но и от природы исследуемого явления, и что сама степень соответствия, в свою очередь, определяет допустимые (и недопустимые) способы обработки данных. Измерение качества – операция, ставящая наблюдаемому явлению в соответствие один из элементов подходящей измерительной шкалы.

Ключевым является понятие «уровень качества продукции» – мера соответствия качества оцениваемой продукции качеству продукции, принятой за базовую (эталонную). В общей квалиметрии уровень качества – относительная мера, результат оценивания, система значений мер качества объекта, определенная на основе соотнесения с базовыми (эталонными) значениями мер.

Оценка уровня качества продукции – совокупность операций, связанных с определением численного значения уровня качества продукции. В общей квалиметрии есть определение: оценивание (оценка) качества – особый тип функции управления, направленной на формирование ценностных суждений об объекте оценки. Рассмотрим алгоритм комплексной оценки уровня качества продукции (см. рис. 3.5). Выбор номенклатуры единичных показателей качества осуществляется из технической документации на продукцию (техническое задание, проект, техническое усовершенствование, государственный стандарт и другой нормативно-технический документ).

Выбор базовых показателей качества рекомендуется на основе выбора базового образца (образцов) продукции. Базовые образцы должны относиться к продукции, аналогичной по назначению и условиям эксплуатации оцениваемой продукции.

При определении значений единичных базовых показателей качества за базовые показатели качества образцов-эталонов (их значения) могут быть приняты: прогнозируемые показатели качества продукции, представляющей перспективный национальный или мировой уровень качества; показатели качества продукции, рекомендуемые международными организациями по качеству; показатели качества существующей мировой и национальной техники (при аттестации – лучшее или среднее); прогрессивные показатели качества стандартов, техническое задание, техническое усовершенствование, государственные стандарты и т. д.).

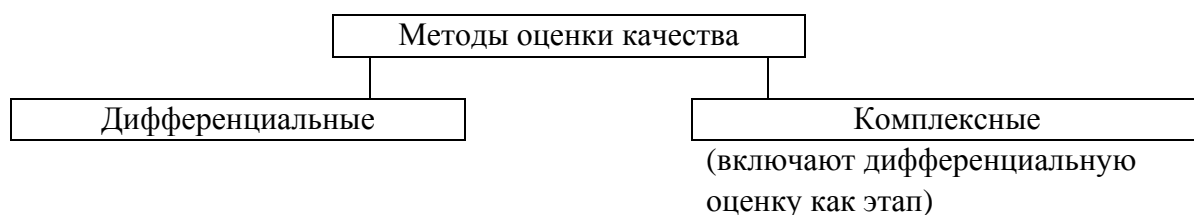
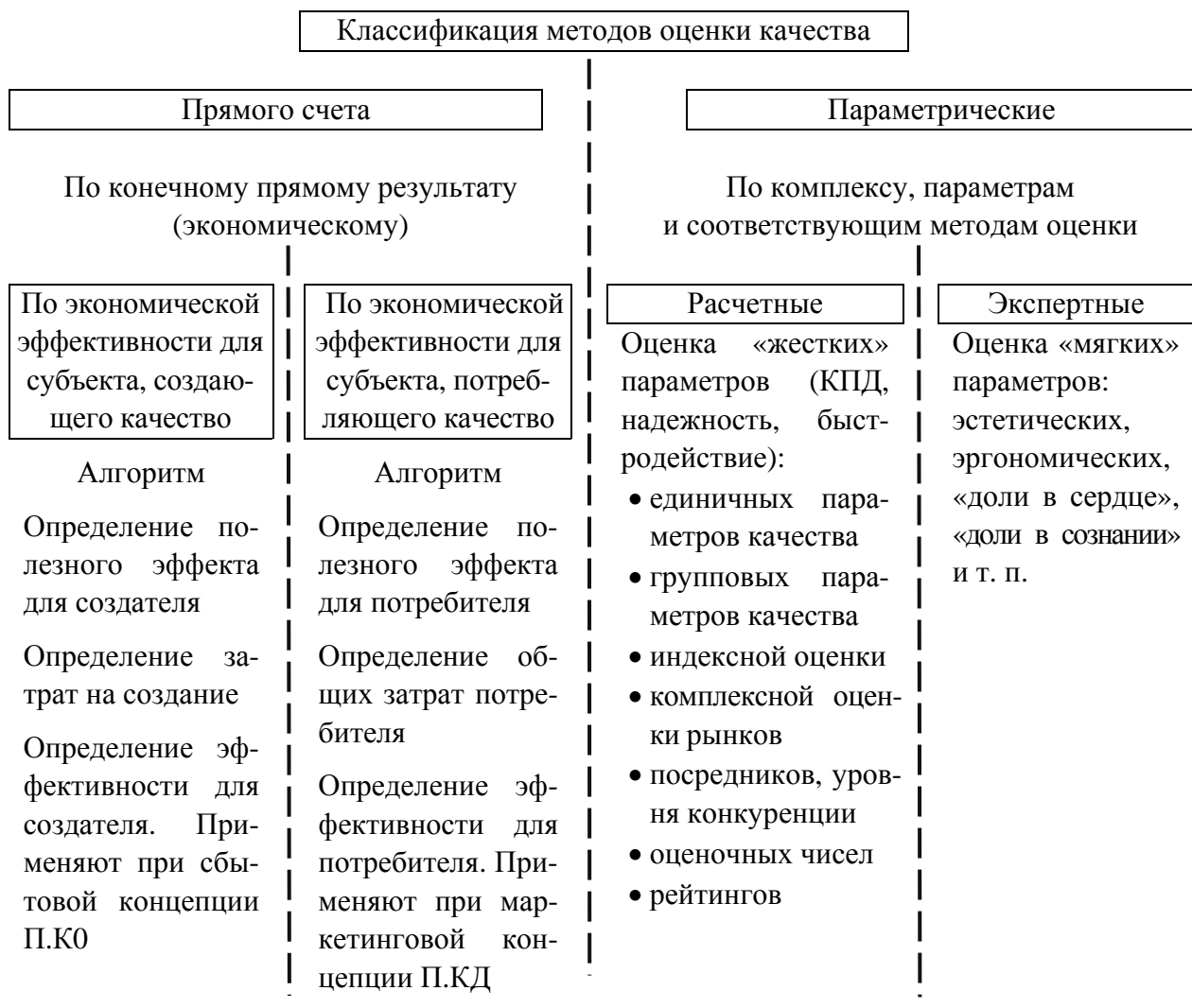


Рис. 3.5. Алгоритм комплексной оценки уровня качества

Информация, необходимая для определения значений единичных показателей качества оцениваемой продукции, может извлекаться из НТД на оцениваемую продукцию (техническое задание, техническое усовершенствование, государственные стандарты и т. д.); на основе данных испытаний и измерений.

Последовательность операций (алгоритм) при комплексной оценке уровня качества продукции приведена на рис. 3.6.

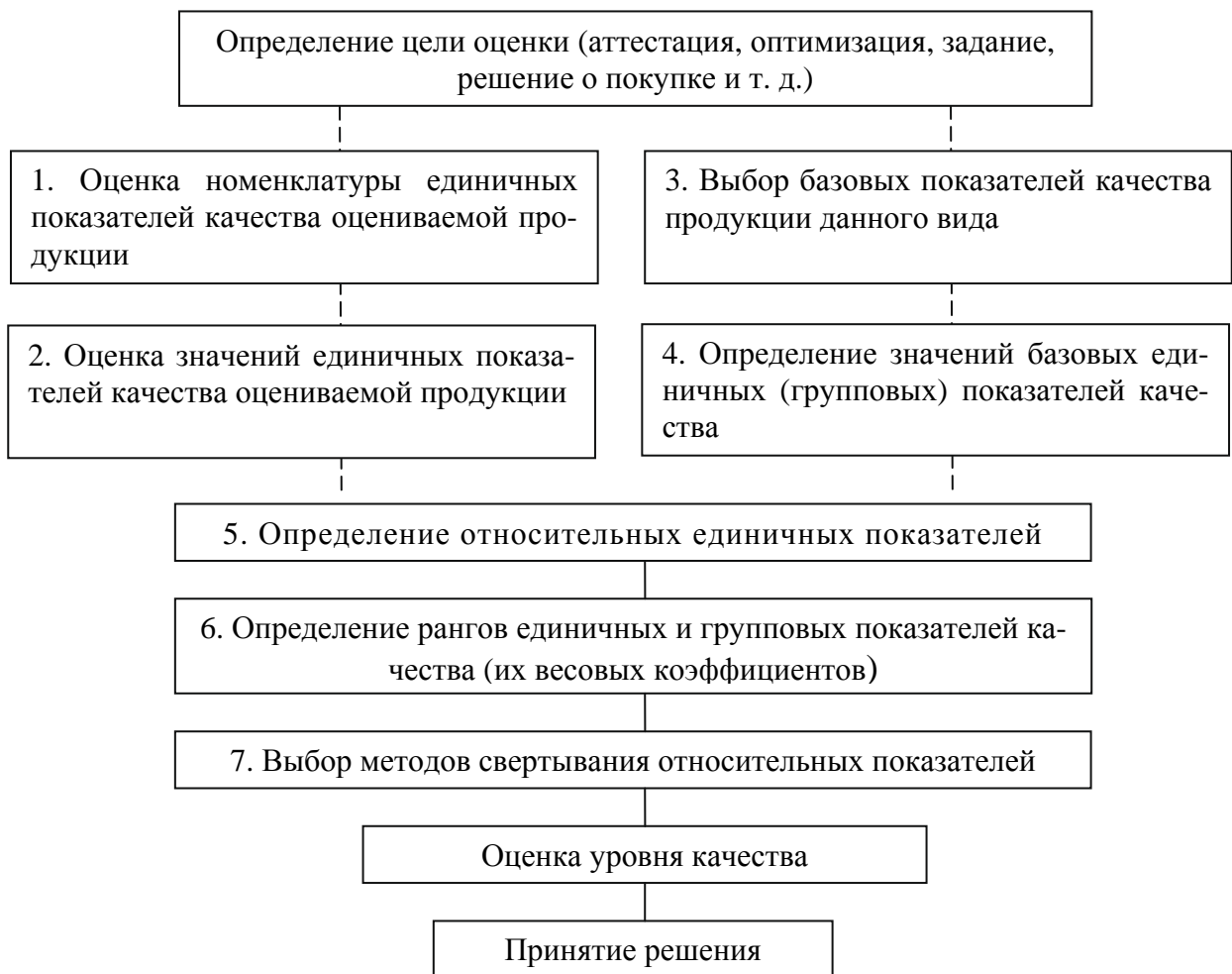


Рис. 3.6. Определение комплексных показателей качества

Определение относительных единичных показателей качества:

$$p_i = \frac{P_i}{P_{i\bar{6}}}, \quad (3.1)$$

или

$$q_i = \frac{1}{p_i} = \frac{P_{i\bar{6}}}{P_i}, \quad (3.2)$$

где P_i – значение единичного i -го показателя качества оцениваемой продукции; $P_{i\bar{6}}$ – значение i -го показателя качества базового образца (базового показателя качества).

Формула (3.1) используется, когда увеличению P_i соответствует улучшение качества (повышение уровня качества продукции); показатель q_i должен увеличиваться при улучшении качества (его применяют при оценке срока службы, производительности, точности, КПД и т. д.). Формула (3.2) исполь-

зуются, когда увеличению P_i соответствует снижение уровня (ухудшение) качества (применяют при оценке себестоимости, трудоемкости, нелинейных искажений и т. д.).

Мы фактически рассмотрели 1-й этап комплексной оценки качества продукции, который носит название дифференциальной оценки качества продукции.

Определение рангов показателей качества (их весовых коэффициентов).

Различные свойства продукции по-разному оказывают влияние на качество продукции в целом. Так, точность хода часов значительно «важнее» с точки зрения их качества, чем чистота полировки наружной поверхности, прилегающей к руке.

Следовательно, и показатели качества, и относительные показатели качества должны учитываться при их свертывании (сведении) с целью определения уровня качества продукции при комплексной оценке ее качества с определенными поправками, так называемыми весовыми коэффициентами.

K_{vi} – весовой коэффициент i -го показателя.

Существуют определенные методы нахождения K_{vi} .

Выбор метода свертывания⁶ показателей.

Во всех случаях, когда имеется возможность выявления характера взаимосвязей между учитываемыми показателями, следует определить функциональную зависимость: степенная функция \rightarrow среднее геометрическое; экспоненциальная функция \rightarrow среднее гармоническое:

$$Q = f(n, q_i, k_{vi}) \quad (3.3)$$

где Q – комплексный обобщенный показатель, характеризующий уровень качества продукции; n – число оцениваемых показателей; k_{vi} – коэффициент весомости i -го единичного показателя качества P_i .

Часто точную функциональную зависимость найти не удастся, тогда используют комплексный средневзвешенный арифметический показатель (если для всех показателей справедливо $q_i > 0,5$)

$$Q_{ap} = \sum_{i=1}^n (k b_i q_i); \quad (3.4)$$

комплексный средневзвешенный геометрический показатель (если хотя бы один $q_i \leq 0,5$)

⁶ Статическое свертывание – объединение мер, построенных на однородных свойствах.

$$Q_2 = \prod_{i=1}^n k_{bi} q_i. \quad (3.5)$$

Условие для (3.4) и (3.5): $\sum_{i=1}^n k_{bi} = 1$; q_i – относительный i -й показатель

качества изделия; n – число оцениваемых показателей качества.

Оценка уровня качества.

Уровень качества Q может характеризовать:

комплексный уровень качества (все основные, включая экономический показатель);

технический уровень продукции (это зависит от целей оценки качества).

Если хотя бы один относительный показатель качества $q_i < 0,5$, необходимо использовать формулу (3.5).

Пример. Для оценки технического уровня часов используют «оценочное число»:

$$Q = a_1 q_1 + a_2 q_2 + a_3 q_3,$$

где q_1 – относительный показатель изохромной погрешности P_1 (определение точности хода при различной величине заряда батареи часов); q_2 – относительный показатель позиционной погрешности P_2 (определение точности хода при различном пространственном положении часов); q_3 – относительный показатель температурной погрешности P_3 (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Оценочные показатели

i	Значение показателя качества P_i , с		Значение параметра $q_i = \frac{P_{\text{б}i}}{P_i}$	Весовые коэффициенты a_i
	Оцениваемое изделие	Базовый образец		
1	0,012	0,018	1,5	0,12
2	0,015	0,017	1,13	0,08
3	0,03	0,028	0,93	0,8

Комплексный показатель, характеризующий технический уровень оцениваемых часов, $Q = a_1 q_1 + a_2 q_2 + a_3 q_3 = 0,12 \cdot 1,5 + 0,08 \cdot 1,13 + 0,8 \cdot 0,93 = 1,02$, т. е. технический уровень оцениваемых часов выше технического уровня базового образца.

3.3. Показатели качества в предметных квалиметриях

Наименование и количество групп показателей качества в предметных квалиметриях постоянно меняется, так как, по определению, любое сколь угодно подробное описание модели объекта гомоморфно. В монографиях, методиках и нормативных документах, посвященных проблемам квалиметрии, идёт процесс унификации: близкие по сущности, имеющие разные наименования свойства приобретают общее свойство.

Приведенная далее классификация основана на наиболее общих показателях, распределённых в девяти группах. Группы качественных характеристик технических объектов и услуг имеют следующие наименования: показатели назначения; показатели надежности; показатели технологичности; экономические показатели; эстетические показатели; показатели стандартизации и унификации; патентно-правовые показатели; экономические показатели; критические показатели.

Показатели назначения отображают область использования по назначению и полезный эффект от объектов.

Как правило, это «жесткие» показатели. К ним относятся показатели, используемые для классификации по назначению, характеризующие конструкцию объекта, его техническое совершенство, состав, структуру и транспортабельность (КНИ, динамический диапазон, вес, габариты, КПД).

Показатели надежности – безотказность, ремонтпригодность, сохраняемость и долговечность объекта.

Характеристики безотказности: интенсивность отказов, вероятность отказа, время безотказной работы объекта.

Характеристика ремонтпригодности – среднее время восстановления.

Характеристика сохраняемости – свойство объекта поддерживать свои показатели в течение заданного срока.

Характеристика долговечности – свойство объекта длительно сохранять способность использования по назначению до предельного состояния (морального износа и старения).

Показатели технологичности характеризуют эффективность конструкторско-технологических решений для обеспечения высокой производительности труда при создании и восстановлении объектов.

Например, для продукции это:

- коэффициент сборности ($K_{сб}$), показывающий, каков удельный вес составных частей, для которых существуют отработанные технологические процессы:

$$K_{\text{сб}} = \frac{q_{\text{с}}}{q_0},$$

где $q_{\text{с}}$ и q_0 – количество специфицируемых и общее число составных частей;

- коэффициент использования материала $K_{\text{им}}$ как отношение суммарного веса определённого материала в изделии к общему весу материала;
- удельная трудоёмкость, равная отношению общей трудоёмкости к значению основного показателя качества продукции.

Эргономические показатели принято делить на *гигиенические* – соответствие объекта гигиеническим условиям жизнедеятельности и работоспособности человека; *антропометрические* – соответствие объекта размерам и форме человеческого тела; *физиологические и психофизиологические* – соответствие объекта физиологическим свойствам человека и особенностям функционирования его органов чувств; *психологические* – соответствие объекта психологическим особенностям человека.

Эстетические показатели – показатели, характеризующие художественность, выразительность и оригинальность формы объекта, гармоничность и целостность объекта, соответствие формы и конструкции объекта среде и стилю, цветовое и декоративное решение объекта, художественное решение упаковки и т. п.

Для примера рассмотрим подробнее некоторые из них.

Информационная выразительность – возможность объекта отражать в форме различные социально-эстетические идеи и представления (знаковость); наличие в форме изделия совокупности признаков, обуславливающих его отличие, непохожесть на подобные изделия, но в то же время подчиненных основному композиционному замыслу (оригинальность); отражение в форме устойчивых черт, определяющих соответствие изделия современному уровню общественного и культурного развития или конкретному функциональному комплексу (стилевое соответствие); выявленность в форме отдельных признаков, характеризующих эстетические взгляды сегодняшнего дня (соответствие моде).

Рациональность формы – выявление в форме объекта выполняемой им функции, конструктивного решения, особенностей технологии и применённых материалов (функционально-конструктивная приспособленность); особенностей работы с объектом (целесообразность).

Целостность композиции – рациональность использования композиционного решения объекта, согласованность и соразмерность его формы (масштабность, пропорциональность, ритмичность и т. п.). Она включает вы-

яснение логики построения формы объекта в соответствии с его назначением (организованность объемно-пространственной структуры); выявление в форме объекта его реальной структуры и закономерностей конструктивного решения (тектоничность); обеспечение выразительности формы с помощью нюансировки ее частей и целого (пластичность); характерность очертания формы объекта в целом и деталях, а также элементов знаковой информации (графическая прорисованность формы); взаимосвязь и сочетание цветов (цветовой колорит).

Совершенство исполнения объекта – характеризует его товарный вид и определяется качеством выполнения видимых элементов формы, качеством покрытий, отделкой поверхностей, чистотой выполнения сочленений, скруглений и сопряжений, а также их соответствием художественно-конструкторскому замыслу; четкостью исполнения фирменных знаков и указателей, сопроводительной документации и информационных материалов.

Эстетические показатели, как и многие другие, позволяют сформировать весьма расплывчатое описание ситуации, когда тождество или различие двух состояний и/или наблюдений нельзя утверждать с полной уверенностью. В этом случае сами показатели, приведённые выше, обозначаются конструкциями естественного языка.

Показатели стандартизации и унификации характеризуют удельный вес стандартных и унифицированных элементов. Составные элементы объекта в изделии могут быть стандартные – создаваемые на основе международных, региональных и национальных стандартов; унифицированные – создаваемые на основе стандартов фирм; оригинальные – создаваемые только для одного изделия; заимствованные – спроектированные как оригинальные для конкретного изделия и примененные в двух и более изделиях.

Основными показателями для оценки уровня стандартизации и унификации являются:

коэффициент унификации (показывает удельный вес стандартной унификации и заимствованных элементов)

$$K_y = \frac{SG_{\text{ст}} + SG_{\text{ун}} + SG_3}{SG},$$

где $SG_{\text{ст}}$ – количество стандартных элементов; $SG_{\text{ун}}$ – количество унифицированных элементов; SG_3 – количество заимствованных элементов; SG – общее количество элементов в объекте. Если стоимость элементов резко отличается, то коэффициент унификации рассчитывают по формуле

$$K_y = \frac{\sum_{i=1}^I C_i G_{cti} + \sum_{j=1}^J C_j G_{ynj} + \sum_{t=1}^T C_t G_{zt}}{SC},$$

где C_i – стоимость i -го элемента; G_{cti} – количество стандартных i -х элементов; I – число типов стандартных элементов; C_j – стоимость j -го элемента; G_{ynj} – количество унифицированных j -х элементов; J – число типов унифицированных элементов; C_t – стоимость t -го элемента; G_{zt} – количество заимствованных t -х элементов; T – число типов заимствованных элементов; SC – себестоимость изделия;

коэффициент применяемости (показывает, какова доля наименований стандартных ($SH_{ст}$), унифицированных ($SH_{ун}$) и заимствованных (SH_3) элементов в общем количестве наименований (SH) элементов в изделии)

$$K_{пр} = \frac{SH_{ст} + SH_{ун} + SH_3}{SH};$$

коэффициент повторяемости (определяет отношение общего количества элементов в объекте (SG) к общему количеству наименований (SH) элементов в изделии)

$$K_{повт} = \frac{SG}{SH}.$$

Экономические показатели – рис. 3.1.

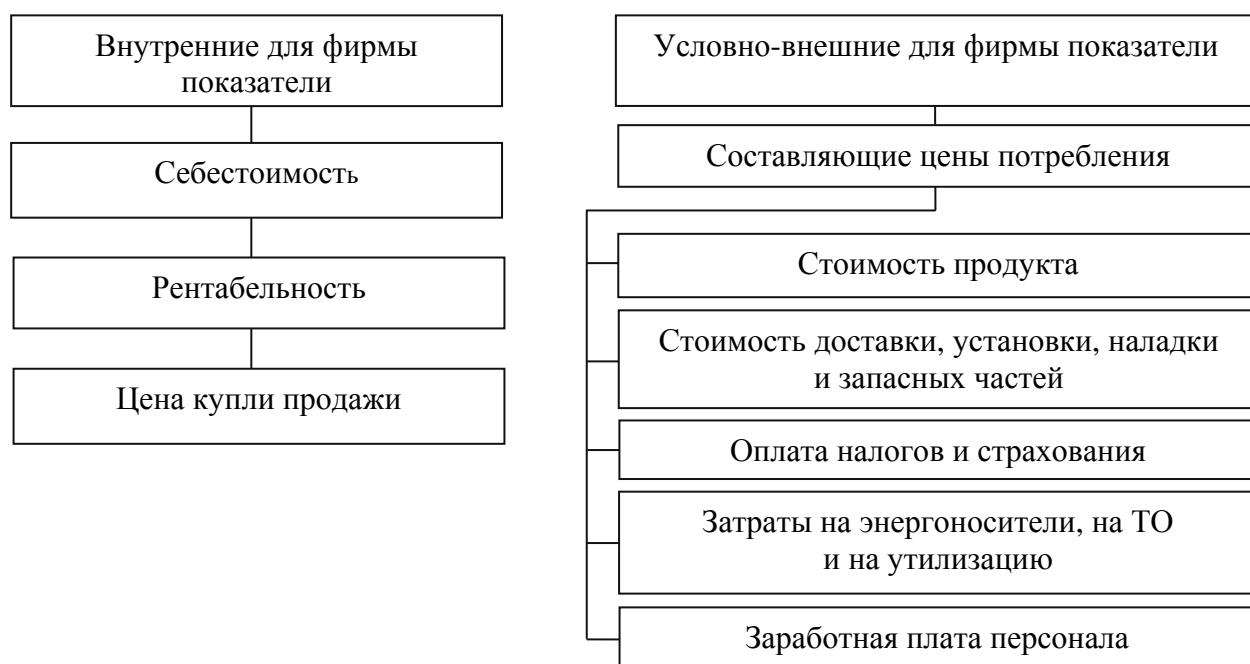


Рис. 3.1. Экономические показатели

Патентно-правовые показатели

Показатель патентной защиты ($\Pi_{\text{пз}}$) характеризует количество и весомость новых отечественных изобретений, реализованных в данном объекте, т. е. характеризует степень защиты объекта, принадлежащего отечественным ученым и организациям, авторскими свидетельствами и патентами России и патентами на российские изобретения за рубежом:

$$\Pi_{\text{пз}} = \Pi_{\text{пз1}} + \Pi_{\text{пз2}},$$

где $\Pi_{\text{пз1}}$ – показатель защиты объекта авторскими свидетельствами и патентами России; $\Pi_{\text{пз2}}$ – показатель защиты объекта патентами за рубежом, принадлежащими российским учёным и организациям.

$$\Pi_{\text{пз1}} = \frac{\sum_{i=1}^n K_i N_i}{N},$$

где K_i – коэффициент весомости i -й составной части объекта; n – число составных частей, защищенных авторскими свидетельствами России; N_i – количество i -х составных частей объекта; N – общее количество составных частей объекта.

$$\Pi_{\text{пз2}} = K_{\text{в}} \frac{\sum_{j=1}^m K_j N_j}{N},$$

где $K_{\text{в}}$ – коэффициент весомости, зависящий от числа стран, в которых получены патенты, и важности этих стран для экспорта объекта или продажи лицензии; K_j – коэффициент весомости j -й составной части объекта; m – число составных частей, защищенных авторскими свидетельствами России; N_j – количество j -х составных частей объекта; $K_{\text{в}}$, K_i , K_j определяются экспертным методом.

Показатель патентной чистоты ($\Pi_{\text{пч}}$) характеризует возможность беспрепятственной реализации объекта на рынках сбыта. Значение показателя зависит от количества элементов патента, права на которые не приобретены фирмой-изготовителем.

$$\Pi_{\text{пч}} = \frac{N - \sum_{t=1}^S K_t N_t}{N},$$

где N_t – количество t -х составных частей объекта, подпадающих под действие патентов в данной стране (по t -й группе значимости) и не защищенных приобретением этих патентов; K_t – коэффициент значимости t -х составных частей объекта; S – число групп значимости.

Критические показатели – показатели, используемые при создании правовой оболочки рынка.

Это особая группа показателей, принадлежность тех или иных показателей к этой группе определяется тем, какие из них приводятся в директивах (ЕЭС), законах и обязательных стандартах.

В настоящее время их делят на две группы, определяющие требования, связанные с охраной окружающей среды и безопасностью человека и объектов. Необходима обязательная сертификация.

Показатели функционального качества определяют: точность поставок (ТВС), условия поставок, условия платежа, систему скидок, комплектность поставок, сроки и условия гарантии, удобство и быстроту сервисного обслуживания.

Показатели качества технологических процессов:

1) точность – величина разброса результирующих параметров (выходных) процесса (продукта) от среднего значения;

2) стабильность – величина отклонения математического ожидания результирующего (выходного) от номинала;

3) технико-экономические параметры: себестоимость; потери (на брак) процесса; ресурсосбережение; риск потребителя (вероятность того, что принятое за годное в процессе производства изделие при эксплуатации окажется негодным); гибкость технологии – минимальная величина партии продукта, которую технология способна рентабельно производить, быстрота перестройки процесса (для создания нового продукта, оказания новой услуги);

4) критические параметры: опасность для жизни; опасность для здоровья; опасность для окружающей среды; влияние на другие технические процессы и устройства (поля, наводки, помехи).

3.4. Метрологическое обеспечение производства

Государственная метрологическая служба России (ГМС) представляет собой совокупность государственных метрологических органов и создается для управления деятельностью по обеспечению единства измерений.

Общее руководство ГМС осуществляет Госстандарт РФ, на который Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» возложены следующие функции:

- межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений;

- представление Правительству РФ предложений по единицам величин, допускаемым к применению;

- установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин;

- определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений;

- государственный метрологический контроль и надзор;

- контроль за соблюдением условий международных договоров РФ о признании результатов испытаний и поверки средств измерений;

- руководство деятельностью Государственной метрологической службы и иных государственных служб обеспечения единства измерений;

- участие в деятельности международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений;

- утверждение нормативных документов по обеспечению единства измерений;

- утверждение государственных эталонов;

- установление межповерочных интервалов средств измерений;

- отнесение технических устройств к средствам измерений;

- установление порядка разработки и аттестации методик выполнения измерений;

- координация деятельности Государственного научного метрологического центра (ГНМЦ), Государственной метрологической службы, Государственной службы времени и частоты (ГСВЧ), Государственной службы стандартных образцов (ГССО), Государственной службы стандартных справочных данных (ГСССД);

- аккредитация государственных центров испытаний средств измерений;

- утверждение типа средств измерения;

- ведение Государственного реестра средств измерений;
- аккредитация метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений;
- утверждение перечней средств измерений, подлежащих поверке;
- установление порядка лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению и ремонту средств измерений;
- организация и координация деятельности государственных инспекторов по обеспечению единства измерений;
- организация деятельности и аккредитация метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ;
- планирование и организация выполнения метрологических работ.

В состав ГМС входят семь государственных научных метрологических центров, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) и около 100 центров стандартизации и метрологии. Наиболее крупные среди научных центров – НПО «ВНИИ метрологии имени Д. И. Менделеева» (ВНИИМ, Санкт-Петербург), НПО «ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений» (ВНИИ ФТРИ, Московская область), Сибирский государственный научно-исследовательский институт метрологии (СНИИМ, Новосибирск), Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ, Екатеринбург). Научные центры являются держателями государственных эталонов, а также проводят исследования по теории измерений, принципам и методам высокоточных измерений, разработке научно-методических основ совершенствования российской системы измерений.

Государственный метрологический контроль за средствами измерений осуществляется в соответствии с Законом РФ «Об обеспечении единства измерений», который устанавливает следующие виды государственного метрологического контроля:

- утверждение типа средств измерений;
- поверка средств измерений, в том числе эталонов;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц на право изготовления и ремонта средств измерений.

Государственный метрологический контроль и надзор (ГМК и Н) осуществляется только в сферах, установленных Законом. Поэтому разрабатываемые, производимые, поступающие по импорту и находящиеся в эксплуатации средства измерений делят на две группы:

1) предназначенные для применения и применяемые в сферах распространения ГМК и Н. Эти средства измерений признаются годными для применения после их испытаний и утверждения типа и последующих первичной и периодической поверок;

2) не предназначенные для применения и не применяемые в сферах распространения ГМК и Н. За этими средствами измерений надзор со стороны государства (Госстандарта России) не проводится.

Государственный метрологический контроль и надзор распространяется: на здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда, торговые операции и взаимные расчеты, обеспечение обороны государства;

производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;

испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации, обязательную сертификацию продукции, услуг и т. д.

ГМК и Н в сфере обеспечения обороны страны предполагает проведение поверки средств измерений, применяемых при разработке, производстве и испытаниях оружия и военной техники, а также средств измерений военного назначения при их выпуске из производства.

В соответствии с Законом Российской Федерации «О стандартизации» обязательными являются требования государственных стандартов по обеспечению безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества граждан, для обеспечения технической и информационной совместимости, взаимозаменяемости продукции, единства методов их контроля и маркировки, а также иные требования, установленные законодательством Российской Федерации.

Для всех сфер измерений, предназначенных для серийного производства, целесообразно проводить испытания с целью утверждения типа. Надо также учесть, что предприятию-изготовителю практически неизвестно, где будут использоваться выпускаемые им средства измерений. Априори можно говорить о большой вероятности применения их в тех случаях, на которые распространяется государственный метрологический контроль. В связи с чем предприятиям-изготовителям целесообразно проводить первичную поверку, если они имеют надлежащие условия.

Утверждение типа – это первая составляющая государственного метрологического контроля. Утверждение типа средств измерений проводится

в целях обеспечения единства измерений в стране, постановки на производство и выпуска в обращение средств измерений, соответствующих требованиям, установленным в нормативных документах.

Правила ПР 50.2.006–94 «ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений» устанавливают, что фактически разделение всех средств измерений на две группы возможно только в процессе их использования в той или иной сфере, что определяет юридическое (физическое) лицо, применяющее конкретное средство измерения.

3.5. Международные организации

Для объединения усилий и развития сотрудничества в сфере контроля и обеспечения качества в 1947 г. создана **ИСО**, упомянутая ранее международная организация по стандартизации (**International Organization for Standardization**). Ее целью является содействие стандартизации в мировом масштабе. В состав ИСО входят национальные органы по стандартизации более 130 стран. Высшим руководящим органом ИСО является Генеральная Ассамблея совместно с Советом, Техническим руководящим бюро, Центральным секретариатом и секретариатами ТК и ПК. Генеральная Ассамблея представляет собой собрание высших должностных лиц ИСО (президента, двух вице-президентов, казначея и генерального секретаря) и делегатов от комитетов-членов. Возглавляет Генассамблею президент ИСО. Официальные языки ИСО — английский, французский и русский. ИСО разрабатывает свои стандарты и другие документы на продукцию, терминологию, классификацию, организационную деятельность. При разработке стандартов на продукцию в ИСО особое внимание уделяется установлению требований к продукции по безопасности для жизни, здоровья людей, охране окружающей среды, технической совместимости, а также использованию единых методов испытаний. Стандарты ИСО охватывают почти все области техники, кроме областей, относящихся к ведению созданной ранее международной электротехнической комиссии (МЭК). В фонде ИСО содержится более 12 тысяч стандартов.

МЭК основана в 1906 г. по решению Международного электротехнического конгресса, состоявшегося в 1904 г. Ее цель — содействие международному сотрудничеству в вопросах стандартизации и смежных проблемах в области электротехники, радиоэлектроники и связи. МЭК издает свои рекомендации и стандарты, которые используются в различных странах в работе по национальной стандартизации. Комиссией опубликовано более 4500 доку-

ментов. С момента образования ИСО МЭК, сохранив автономность, стала, по существу, филиалом ИСО. Требования по безопасности являются важнейшими требованиями на продукцию, относящуюся к сфере деятельности МЭК. Стандарты МЭК имеют рекомендательный характер при применении их на внутренних рынках стран, не входящих в состав международной организации под названием Генеральное соглашение по тарифам и торговле — ГАТТ, в 1993 г. преобразованной во всемирную торговую организацию — ВТО. Но они приобретают обязательный характер при выходе продукции на мировой рынок. Членами МЭК являются 56 стран, в том числе Россия, более ста предприятий которой участвуют в работе Комиссии. Госстандарт России выполняет функции Российского национального комитета по участию в МЭК. Официальными языками МЭК являются английский, французский и русский.

Международная организация мер и весов

Испытания и контроль качества продукции, сертификация, аккредитация метрологических лабораторий сопряжены с действиями, основанными на национальных системах измерений. При оценке соответствия продукции требованиям стандартов осуществляются измерения различных параметров, начиная от характеристик самой продукции до параметров внешних воздействий при ее хранении, транспортировке и использовании. При сертификационных испытаниях, устанавливающих соответствие товара обязательным требованиям, методика и практика измерений прямо сказываются на сопоставимости результатов, что непосредственно связано с признанием сертификата. Следовательно, метрология будет обеспечивать интересы международной торговли, если соблюдается единство измерений как необходимое условие сопоставимости результатов испытаний и сертификации продукции. Эта задача и является важнейшей в деятельности международных организаций по метрологии, благодаря усилиям которых в большинстве стран мира принята Международная система единиц физических величин (СИ), действует сопоставимая терминология, приняты рекомендации по способам нормирования метрологических характеристик средств измерений, по сертификации средств измерений, по испытаниям средств измерений перед выпуском серийной продукции. Международные метрологические организации работают в контакте с ИСО и МЭК, что способствует более широкому международному распространению единства измерений.

Наиболее крупные международные метрологические организации — Международная организация мер и весов (МОМВ) и Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ).

В 1875 г. семнадцать стран (в том числе и Россия) подписали Метрическую конвенцию, цель которой – унификация национальных систем единиц измерений и установление единых фактических эталонов длины и массы (метра и килограмма). На основе этой Конвенции была создана межправительственная Международная организация мер и весов. Официальный язык организации – французский. Среди инициаторов создания организации – Петербургская Академия наук. Сейчас в ней около 50 государств мира. Метрическая конвенция действует по сей день (с дополнениями от 1921 г.). В соответствии с Конвенцией было создано Международное бюро мер и весов (МБМВ) – первая международная научно-исследовательская лаборатория, которая хранит и поддерживает международные эталоны: прототипы метра и килограмма, единицы ионизирующих излучений, электрического сопротивления и др. Оно расположено во Франции (г. Севр), его деятельностью руководит Международный комитет мер и весов (МКМВ). Главная практическая задача МБМВ – сличение национальных эталонов с международными эталонами различных единиц измерений. Фактически МБМВ координирует деятельность метрологических организаций более 100 государств.

Научное направление работы этой организации – совершенствование метрической системы измерений. Она постоянно совершенствует международные эталоны, разрабатывает и применяет новые и новейшие методы и средства точных измерений, создает новые и заменяет устаревшие концепции основных единиц измерений, координирует метрологические исследования.

Международная организация законодательной метрологии

Международная организация законодательной метрологии (МОЗМ) учреждена на основе межправительственной Конвенции, подписанной в 1956 г. Россия участвует в МОЗМ как правопреемница Советского Союза. Организация объединяет более 80 государств. Цель МОЗМ – разработка общих вопросов законодательной метрологии, в том числе установление классов точности средств измерений; обеспечение единообразия определения типов, образцов и систем измерительных приборов; рекомендации по их испытаниям для унификации метрологических характеристик; порядок поверки и калибровки средств измерений; гармонизация поверочной аппаратуры, методов сличения, поверок и аттестации эталонных, образцовых и рабочих измерительных приборов; выработка оптимальных форм организации метрологических служб и обеспечение единства государственных предписаний по их ведению; оказание научно-технического содействия развивающимся странам в создании

и организации работ метрологических служб и их оснащение надлежащим оборудованием; установление единых принципов подготовки кадров в области метрологии с учетом различных уровней квалификации.

Высший руководящий орган МОЗМ – Международная конференция законодательной метрологии, которая созывается с интервалом в четыре года. В работе конференции обычно участвуют и страны, которые не планируют стать членами организации, а также различные международные союзы, чья деятельность связана с метрологией. Решения, принятые МОЗМ, носят рекомендательный характер и лишь морально обязуют страны, входящие в организацию, внедрить их по возможности. Дальнейшее зависит от многих факторов.

Исполнительный орган МОЗМ – Международный комитет законодательной метрологии, состоящий из представителей от каждой страны – члена МОЗМ. Представители не наделены правом брать на себя обязательства от имени правительства своего государства. При Комитете действует консультативный орган – Совет президента (Международного комитета законодательной метрологии). В состав его входят два вице-президента, директор Международного бюро законодательной метрологии и пять наиболее активных членов Международного комитета законодательной метрологии.

Вопросы для самопроверки

1. Понятия и определения квалиметрии.
2. Показатели качества.
3. Методы определения показателей качества.
4. Образование и аттестация экспертных комиссий.
5. Способы получения экспертных оценок.
6. Обработка данных экспертных оценок.
7. Виды системных измерений при производственных комплексных испытаниях, контроле и диагностике.
8. «Мягкие» измерения, «мягкие» датчики, распознавание образов.
9. Особенности метрологического обеспечения «мягкого» измерения.
10. Государственная система метрологического обеспечения народного хозяйства.
11. Метрологическое обеспечение производства.
12. Технический контроль на производстве.
13. Международные метрологические организации.

4. СТАНДАРТИЗАЦИЯ

Основы организации и технологии стандартизации

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

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

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

Цели стандартизации можно подразделить на общие и более узкие, касающиеся обеспечения соответствия. Общие цели вытекают прежде всего из содержания понятия. Конкретизация общих целей для российской стандартизации связана с выполнением тех требований стандартов, которые являются обязательными.

К ним относятся разработка норм, требований, правил, обеспечивающих:

безопасность продукции, работ, услуг для жизни и здоровья людей, окружающей среды и имущества;

совместимость и взаимозаменяемость изделий;

качество продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития научно-технического прогресса;

единство измерений;

экономии всех видов ресурсов;

безопасность хозяйственных объектов, связанную с возможностью возникновения различных катастроф (природного и техногенного характера) и чрезвычайных ситуаций;

оборонеспособность и мобилизационную готовность страны.

Это определено Законом РФ «О стандартизации», принятым в 1993 г.

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

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

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

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

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

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

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

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

Нормативные документы и виды стандартов

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

Рассмотрим разновидности нормативных документов, которые рекомендуются руководством 2 ИСО/МЭК, а также принятые в государственной системе стандартизации РФ. Руководство ИСО/МЭК рекомендует: стандарты, документы технических условий, своды правил, регламенты (технические регламенты), положения.

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

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

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

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

В учебниках стандарт рассматривается как одна из разновидностей нормативных документов. Однако в практике термин «стандарт» может упот-

ребляться и по отношению к эталону, образцу или описанию продукта, процесса (услуги). По существу это не является принципиальной ошибкой, хотя эталон правильнее относить к области метрологии, а термин «стандарт» использовать применительно к нормативному документу.

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

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

Все указанные выше нормативные документы являются рекомендательными. В отличие от них обязательный характер носит регламент.

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

Руководство 2 ИСО/МЭК, обобщая международный опыт стандартизации, представляет следующие возможные виды стандартов.

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

Терминологический стандарт – это документ, в котором объектом стандартизации являются термины. Такой стандарт содержит определение (толкование) термина, примеры его применения и т. п.

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

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

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

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

Положения могут носить методический или описательный характер.

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

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

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

Российская система стандартизации опирается на международный опыт, приближена к международным правилам, нормам и практике стандартизации, но имеет и свои особенности, не противоречащие, однако, изложен-

ному выше. Поэтому целесообразно рассмотреть разновидности нормативных документов, действующих в РФ.

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

- государственные стандарты Российской Федерации;
- применяемые в соответствии с правовыми нормами международные, региональные стандарты, а также правила, нормы и рекомендации по стандартизации;
- общероссийские классификаторы технико-экономической информации;
- стандарты отраслей;
- стандарты предприятий;
- стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений.

До настоящего времени действуют еще и стандарты СССР, если они не противоречат законодательству РФ.

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

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

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

К обязательным относятся: безопасность продукта, услуги, процесса для здоровья человека, окружающей среды, имущества, а также производственная безопасность и санитарные нормы; техническая и информационная совместимость и взаимозаменяемость изделий; единство методов контроля и единство маркировки. Особую актуальность приобретают требования безо-

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

К требованиям безопасности в стандартах относят: электробезопасность, пожаробезопасность, взрывобезопасность, радиационную безопасность, предельно допустимые концентрации химических и загрязняющих веществ; безопасность при обслуживании машин и оборудования; требования к защитным средствам и мероприятиям по обеспечению безопасности (ограждения, ограничители хода машин, блокирующие устройства, аварийная сигнализация и т. п.).

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

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

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

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

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

В некоторых случаях, если это целесообразно и необходимо для обеспечения более высокого уровня конкурентоспособности отечественных това-

ров, в стандартах могут быть установлены перспективные (предварительные) требования, которые опережают возможности традиционных технологий. Это, с одной стороны, не противоречит изложенному выше положению о предварительных стандартах, с другой – служит стимулом для внедрения новых, передовых технологических процессов на отечественных предприятиях.

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

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

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

Закон РФ «О стандартизации» рекомендует использовать стандартизацию на предприятии для освоения государственных, международных, региональных стандартов, а также для регламентирования требований к сырью, полуфабрикатам и т. п., закупаемым у других организаций. Эта категория стан-

дартов обязательна для предприятия, принявшего этот стандарт. Но если в договоре на разработку, производство, поставку продукта или предоставление услуг имеется ссылка на стандарт предприятия, он становится обязательным для всех субъектов хозяйственной деятельности – участников такого договора.

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

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

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

Правила по стандартизации (ПР) и рекомендации по стандартизации (Р) по своему характеру соответствуют нормативным документам методического содержания. Они могут касаться порядка согласования нормативных документов, представления информации о принятых стандартах отраслей, обществ и других организаций в Госстандарт РФ, создания службы по стандартизации на предприятии, правил проведения государственного контроля за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и многих других вопросов организационного характера. Правила по стандартизации (ПР) и рекомендации по стандартизации (Р) разрабатывают, как правило, организации и подразделения, подведомственные Госстандарту РФ. Проект этих документов обсуждают с заинтересованными сторонами, утверждают и издают эти комитеты.

Технические условия (ТУ) разрабатывают предприятия и другие субъекты хозяйственной деятельности в том случае, когда стандарт создавать

нецелесообразно. Объектом ТУ может быть продукция разовой поставки, выпускаемая малыми партиями, а также произведения художественных промыслов и т. п. Процедура принятия ТУ отличается от описанной выше для других нормативных документов.

В соответствии с Законом «О стандартизации» ТУ отнесены к техническим, а не нормативным документам. В то же время установлено, что ТУ рассматриваются как нормативные документы, если на них есть ссылка в контрактах или договорах на поставку продукции.

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

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

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

Как и в мировой практике, в России действует несколько видов стандартов, которые отличаются спецификой объекта стандартизации: основополагающие стандарты; стандарты на продукцию (услуги); стандарты на работы (процессы); стандарты на методы контроля (испытаний, изменений, анализа).

Основополагающие стандарты разрабатывают с целью содействия взаимопониманию, техническому единству и взаимосвязи деятельности в различных областях науки, техники и производства. Этот вид нормативных до-

кументов устанавливает такие организационные принципы и положения, требования, правила и нормы, которые рассматриваются как общие для этих сфер и должны способствовать выполнению целей, общих как для науки, так и для производства. В целом они обеспечивают их взаимодействие при разработке, создании и эксплуатации продукта (услуги) для того, чтобы выполнялись требования по охране окружающей среды, безопасности продукта или процесса для жизни, здоровья и имущества человека; ресурсосбережению и другим общетехническим нормам, предусмотренным государственными стандартами на продукцию.

Примером основополагающих стандартов могут быть ГОСТ Р 1.0–92, ГОСТ Р 1.2–92, ГОСТ Р 1.4–93, ГОСТ Р 1.5–92 – нормативные документы по организации Государственной системы стандартизации в России.

Стандарты на продукцию (услуги) устанавливают требования либо к конкретному виду продукции (услуги), либо к группам однородной продукции (услуги). В отечественной практике есть две разновидности этого вида нормативных документов:

- стандарты общих технических условий, которые содержат общие требования к группам однородной продукции, услуг;

- стандарты технических условий, содержащие требования к конкретной продукции (услуге).

Допускается также разработка стандартов на отдельные требования к группам однородной продукции (услуги), например на классификацию, методы испытаний, правила хранения и/или транспортировки и т. п. Наиболее часто отдельным объектом стандартизации являются параметры и нормы безопасности и охраны окружающей среды. Стандарт общих технических условий обычно включает следующие разделы:

- классификацию, основные параметры (размеры), общие требования к параметрам качества, упаковке, маркировке, безопасности;

- требования к охране окружающей среды;

- правила приемки продукции;

- методы контроля, транспортирования и хранения;

- правила эксплуатации, ремонта и утилизации.

Наличие в содержании стандарта тех или иных разделов зависит от особенностей объекта стандартизации и характера предъявляемых к нему требований.

Стандарт технических условий устанавливает всесторонние требования к конкретной продукции (в том числе различных марок или моделей этой

продукции), касающиеся производства, потребления, поставки, эксплуатации, ремонта, утилизации. Сущность этих требований не должна противоречить стандарту общих технических условий. Но стандарт технических условий содержит конкретизированные дополнительные требования, относящиеся к объекту стандартизации (указание о товарном знаке, если он зарегистрирован в установленном порядке; знаки соответствия, если изделия сертифицированы; особые требования, касающиеся безопасности и охраны окружающей среды). Стандарты технических условий на услугу могут содержать требования к ассортименту предоставляемых услуг (точность и своевременность исполнения, эстетичность, комфортность, комплексность обслуживания).

Стандарты на работы (процессы) устанавливают требования к конкретным видам работ, которые осуществляются на разных стадиях жизненного цикла продукции: разработка, производство, эксплуатация (потребление), хранение, транспортировка, ремонт, утилизация. В частности, такие стандарты могут включать требования к методам автоматизированного проектирования продукции, модульного конструирования, принципиальным схемам технологического процесса изготовления продукта, технологическим режимам или нормам. Особое место занимают требования безопасности для жизни и здоровья людей при осуществлении технологических процессов, которые могут конкретизироваться по отношению к использованию определенного оборудования, инструмента, приспособлений и вспомогательных материалов.

При проведении технологических операций стандартизации подлежат предельно допустимые нормы различного рода воздействий технологии на природную среду. Эти воздействия могут носить химический (выброс вредных химикатов), физический (радиационное излучение), биологический (заражение микроорганизмами) и механический (разрушение памятников архитектуры) характер, опасный в экологическом аспекте. Экологические требования могут касаться условий применения определенных материалов и сырья, потенциально вредных для окружающей природы; параметров эффективности работы очистного оборудования; правил аварийных выбросов, ликвидации их последствий, предельно допустимых норм сбросов загрязняющих веществ со сточными водами.

Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) рекомендуют применять методики, в наибольшей степени обеспечивающие объективность оценки обязательных требований к качеству продукции, которые содержатся в стандарте на нее. Главный критерий объективности метода контроля (испытания, измерения, анализа) – воспроизводимость и сопостави-

мость результатов. Необходимо пользоваться именно стандартизованными методами контроля, испытаний, измерений и анализа, так как они базируются на международном опыте и передовых достижениях. Каждый из методов обычно имеет свою специфику, связанную прежде всего с конкретным объектом контроля, но в то же время можно выделить нечто общее, подлежащее стандартизации: средства контроля и вспомогательные устройства; порядок подготовки и проведения контроля; правила обработки и оформления результатов; допустимую погрешность метода.

Стандарт обычно рекомендует несколько методик контроля применительно к одному показателю качества продукта. Это нужно для того, чтобы одна из методик была выбрана в качестве арбитражной, если возникает необходимость. Для таких случаев стандарт приводит либо четкую рекомендацию по условиям выбора того или иного метода, либо данные по их отличительным характеристикам.

Чтобы результаты были достоверны и сопоставимы, следует пользоваться рекомендациями стандартов относительно способа и места отбора пробы от партии товара с ее количественными характеристиками, схемами испытательных установок, правилами, определяющими последовательность проводимых операций и обработку полученных результатов.

В 1996 г. внесено изменение в основополагающий стандарт ГОСТ Р 1.0–92, согласно которому к перечню нормативных документов, применяемых в России, добавляется технический регламент.

Полное соответствие международным правилам в данном вопросе может быть достигнуто тогда, когда в России появятся законы, устанавливающие обязательные к выполнению требования и нормы, подобные действующим в Европейском союзе директивам. В ЕС технический регламент становится обязательным документом, если на него есть ссылка в соответствующей директиве.

Отличие российского подхода к техническим регламентам прослеживается и в самом тексте указанного выше стандарта: «к техническим регламентам следует относить законодательные акты и постановления правительства Российской Федерации, содержащие требования, нормы и правила технического характера; государственные стандарты Российской Федерации в части устанавливаемых в них обязательных требований; нормы и правила федеральных органов исполнительной власти, в компетенцию которых в соответствии с законодательством Российской Федерации входит установление обязательных требований».

Технический регламент содержит технические требования либо непосредственно (например, обязательные требования государственных стандартов), либо путем ссылки на стандарт, либо путем включения в себя содержания стандарта.

Применение нормативных документов и характер их требований

Руководство 2 ИСО/МЭК рекомендует два основных способа применения нормативного документа:

- 1) непосредственное использование в соответствующей области (производстве, испытаниях, сертификации и т. д.);
- 2) введение его в другой нормативный документ.

Последнее предполагает включение полного текста или части данного нормативного документа в другой нормативный документ. Посредством этого он становится применимым в производстве, торговле и т. д. либо переносится в еще один нормативный документ. Например, международное правило (норма) вводится в национальный стандарт, который может применяться непосредственно на предприятии, либо правила (нормы), содержащиеся в этом национальном стандарте, включаются в стандарт предприятия. Необходимо различать термины «принятие» и «применение». Изложенное выше касается применения, в то время как принятие – это официальное опубликование нормативного документа уполномоченным на то государственным органом. Так, если говорить о принятии международного стандарта в национальной системе стандартизации (т. е. в национальном стандарте), то следует понимать это как «опубликование национального нормативного документа, основанного на соответствующем международном стандарте».

Применение международного стандарта может быть прямым и косвенным.

Прямое применение международного стандарта не связано с его принятием в нормативном документе, действующем в национальной системе стандартизации.

В таком случае международный стандарт применяется в том виде, в каком он издан соответствующей международной организацией на языке оригинала или в переводе (официальном) на соответствующий язык, либо он может быть принят «методом обложки», т. е. содержание стандарта полностью сохраняется, а обложка оформляется в соответствии с национальными нормами, но на титульном листе обязательно указаны реквизиты международного нормативного документа наряду с номером и шифром национального стандарта.

Косвенное применение международного стандарта – использование его в соответствующей области посредством включения в национальный нормативный документ. Здесь могут быть варианты полного и частичного применения, т. е. соответственно внесение в другой нормативный документ полного содержания международного стандарта или отдельных его положений (требований).

Вопросы применения нормативных документов в России касаются:

использования национальных стандартов и других нормативных документов отечественными организациями и субъектами хозяйственной деятельности;

применения международных, региональных нормативных документов и стандартов других стран в РФ;

применения нормативных документов на экспортируемую или импортируемую продукцию, а также использования отечественных стандартов зарубежными странами.

Российские нормативные документы применяют государственные органы управления и субъекты хозяйственной деятельности. В зависимости от объекта стандартизации и вида деятельности пользователя нормативные документы необходимы при выполнении различного рода работ или оказании услуг, при создании проектов, разработке технической документации, условий технологического процесса, регламентации видов деятельности, связанных с реализацией всех фаз жизненного цикла любого объекта стандартизации. Могут быть такие ситуации, когда продукция была освоена и выпускается предприятием раньше принятия нового или пересмотра старого государственного (отраслевого) стандарта. Российское законодательство в таких случаях допускает нераспространение новых нормативных документов на данную продукцию, если в них содержатся соответствующие указания (примечания).

Для экспортируемой продукции российского производства применимость нормативных документов определяется контрактом, но возможны исключения, обусловленные законодательством РФ. При этом соблюдается приоритет потребителя, т. е. допускаются изготовление и поставка продукции за рубеж в соответствии с требованиями международных, региональных, а также национальных либо фирменных стандартов принимающей страны. Выбор нормативного документа фиксируется в контракте.

Импортируемая продукция не может быть реализована или передана для реализации, если она не соответствует обязательным требованиям на та-

кую продукцию в отечественных действующих нормативных документах. Подтвердить это соответствие необходимо путем сертификации.

Применение международных, региональных и национальных стандартов других стран в России возможно на основе международных соглашений о сотрудничестве, а также по разрешению региональных организаций, национальных органов по стандартизации. Кроме правовой основы нужно учитывать и целесообразность применения указанных нормативных документов, которая прежде всего диктуется потребностями внутри страны либо во внешнеэкономической деятельности.

Международные, региональные стандарты, правила, нормы ЕЭК ООН и других международных организаций, занимающихся стандартизацией, а также национальные зарубежные стандарты вводятся в России через принятие государственного стандарта РФ (ГОСТ Р). В этот стандарт включается полный текст указанных нормативных документов в русском переводе либо еще и дополнения, если это необходимо для учета специфики внутренних потребностей и др. Российское законодательство допускает также применение международных, региональных, зарубежных национальных стандартов, правил и норм, разработанных международными организациями, отечественными отраслями, предприятиями и общественными объединениями до их принятия в качестве ГОСТ Р.

Действующие стандарты любого уровня могут содержать ссылки на другие стандарты. В ситуации принятия в национальный стандарт международных и других указанных выше стандартов на содержащиеся ссылки необходимо обратить особое внимание. Ссылки могут носить двоякий характер:

1) в том стандарте, который решено применить, могут быть ссылки на другие стандарты, которые уже применяются в стране;

2) ссылка может указывать на стандарт, который не принят в России. В этом случае принятие международного стандарта осложняется, поскольку требуется решение вопроса о возможности и целесообразности использования того стандарта, на который ссылаются.

Разновидность региональных стандартов, принятых в РФ, составляют межгосударственные стандарты, действующие в рамках СНГ. Если РФ присоединилась к этим стандартам, то они применяются на ее территории без переоформления и вводятся постановлением Госстандарта РФ или Госстроя РФ.

Применение российских стандартов другими странами предусмотрено отечественным законодательством, что не противоречит правовым международным нормам в данной области. Юридические и физические лица зарубеж-

ных государств имеют право пользоваться в своей деятельности российскими нормативными документами на основании соглашений, договоров, заключаемых на соответствующих уровнях.

Нормативные документы могут содержать: обязательные требования (Mandatory requirement), подлежащие обязательному выполнению в соответствии с законом или действующим регламентом (техническим регламентом), альтернативные требования (Optional requirement) и положения.

Инструкции обычно излагают в повелительном наклонении, рекомендации – в сослагательном; требования содержат критерии, которые должны быть соблюдены.

Альтернативные требования представляют в форме выборочных либо дополнительных норм.

В сущности положение – обобщающее понятие, оно может быть изложено в форме сообщения, инструкции, рекомендации или требования.

Ответственность за нарушение обязательных требований стандартов

В зарубежной практике требования стандартов обязательны для выполнения в соответствии с общим законом либо если на этот стандарт имеется обязательная ссылка в техническом регламенте или директиве. В регламентах (технических регламентах) ссылки могут носить разный характер:

- ссылка с твердой идентификацией, т. е. указанием номера и даты издания конкретного стандарта (или нескольких конкретных стандартов). Это связано с последующим пересмотром стандарта: он будет иметь силу лишь после того, как будут внесены изменения в регламент;
- ссылка со скользящей идентификацией, т. е. стандарт (стандарты) идентифицируют (указывают в регламенте) только с помощью номера. Это дает возможность пересматривать стандарт и вводить его в действие независимо от внесения изменений в регламент;
- ссылка общего характера, т. е. указание в регламенте всех стандартов, которые действуют в определенной области и (или) приняты конкретным органом. Идентификация каждого стандарта в отдельности отсутствует.

Ответственность существует за нарушение стандарта, на который имеется обязательная ссылка. Эта ссылка указывает, что соблюдение идентифицированных в ней стандартов (стандарта) – единственный путь достижения соответствия товара требованиям технического регламента.

Технический регламент может включать индикативную ссылку. Этот вид ссылки на стандарт по существу представляет собой форму положения, направленного на достижение соответствия.

Согласно Закону РФ «О стандартизации» ответственность за нарушение его положений несут юридические и физические лица, органы государственного управления. В соответствии с действующим в России законодательством ответственность носит уголовный, административный либо гражданско-правовой характер. Нарушения выявляют службы государственного контроля и надзора за соблюдением субъектами хозяйственной деятельности обязательных требований государственных стандартов.

Нарушение должностными лицами или гражданами, которые зарегистрированы как индивидуальные предприниматели, обязательных требований государственных стандартов при реализации, эксплуатации, транспортировке и хранении продукции влечет наложение штрафа. Такое же наказание определено юридическим и физическим лицам за уклонение от предъявления продукции, а также сведений о ней и соответствующей документации органам государственного надзора.

С 1 января 1997 г. уголовная ответственность установлена за обман потребителей в отношении качества товара, установленного договором, а также за производство и реализацию товаров и услуг, не отвечающих требованиям безопасности. Уголовная ответственность за нарушение требований стандартов по продукции производственного назначения не предусмотрена, а административная ответственность установлена за несоблюдение обязательных требований при ее продаже (поставке), использовании, транспортировке и хранении.

Правовые основы и задачи стандартизации

Правовые основы стандартизации в России установлены Законом Российской Федерации «О стандартизации». Положения Закона обязательны к выполнению всеми государственными органами управления, субъектами хозяйственной деятельности независимо от формы собственности, а также общественными объединениями.

Закон определяет меры государственной защиты интересов потребителей и государства через требования, правила, нормы, вносимые в государственные стандарты при их разработке, и государственный контроль выполнения обязательных требований стандартов при их применении.

Сущность стандартизации в РФ закон толкует как деятельность, направленную на определение норм, правил, требований, характеристик, которые должны обеспечивать безопасность продукции, работ и услуг, их техническую и информационную совместимость, взаимозаменяемость, качество в соответствии с достижениями научно-технического прогресса. Нормы и требования стандартов могут относиться также к безопасности хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях (например, природные и техногенные катастрофы), к обороноспособности и мобилизационной готовности страны.

Кроме данного закона отношения в области стандартизации в России регулируются издаваемыми в соответствии с ним актами законодательства РФ, например Федеральным законом «О внесении изменений и дополнений в законодательные акты Российской Федерации в связи с принятием законов РФ «О стандартизации», «Об обеспечении единства измерений», «О сертификации продукции и услуг» (1995 г.), постановлениями Правительства РФ, принятыми во исполнение Закона РФ «О стандартизации», приказами Госстандарта РФ [11].

Закон «О стандартизации» регламентирует:

- организацию работ по стандартизации;
- содержание и применение нормативных документов по стандартизации;
- информационное обеспечение работ по стандартизации;
- организацию и правила проведения государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований государственных стандартов;
- финансирование работ по государственной стандартизации, государственному контролю и надзору;
- стимулирование применения государственных стандартов;
- ответственность за нарушение положений Закона РФ «О стандартизации».

На основании правовых норм закона определены принципы и задачи стандартизации в России.

Принципы стандартизации следующие:

- целесообразность разработки стандарта определяется путем анализа его необходимости в социальном, экономическом и техническом аспектах;
- приоритетным направлением стандартизации является безопасность объекта стандартизации для человека и окружающей среды, обеспечение совместимости и взаимозаменяемости продукции;
- стандарты не должны быть техническим барьером в торговле. Для этого необходимо учитывать международные стандарты (и их проекты), правила, нормы международных организаций и национальные стандарты других стран;

разработка стандарта должна быть основана на взаимном согласии заинтересованных и участвующих в ней сторон (консенсусе). При этом должно быть учтено мнение каждого по всем вопросам, представляющим взаимный интерес;

разработчики нормативных документов должны соблюдать: нормы законодательства, правила в области государственного контроля и надзора, взаимосвязанность объектов стандартизации с метрологией и с другими объектами стандартизации; оптимальность требований, норм и характеристик, включаемых в стандарты;

стандарты должны своевременно актуализироваться, чтобы не быть тормозом для научно-технического прогресса в стране;

обязательные требования стандартов должны быть проверяемы и пригодны для целей сертификации соответствия;

стандарты, применяемые на данных уровнях управления, не должны дублировать друг друга.

Эти принципы реализуются при выполнении определяемых основополагающими стандартами ГСС задач:

1) обеспечение взаимопонимания между всеми заинтересованными сторонами;

2) установление оптимальных требований к номенклатуре и качеству объекта стандартизации в интересах потребителя и государства;

3) определение требований по безопасности, совместимости (конструктивной, электрической, электромагнитной, информационной, программной и др.), а также взаимозаменяемости продукции;

4) унификация конструктивных частей изделий;

5) разработка метрологических норм и нормативно-техническое обеспечение измерений, испытаний, оценки качества и сертификации продукции;

6) оптимизация технологических процессов с целью экономии материальных, энергетических и людских ресурсов;

7) создание, ведение и гармонизация с международными правилами систем классификации и кодирования технико-экономической информации;

8) организация системного обеспечения потребителей и всех заинтересованных сторон информацией о номенклатуре и качестве продукции, услуг, процессов путем создания системы каталогов и др.

В соответствии с Законом «О стандартизации» в РФ действует Государственная система стандартизации. Методологические вопросы ее организации и функционирования изложены в комплексе государственных основопола-

гающих стандартов «Государственная система стандартизации Российской Федерации», новая редакция которого введена в действие с 1 апреля 1994 г. Данный комплекс включает документы:

ГОСТ Р 1.0–92 «Государственная система стандартизации Российской Федерации. Основные положения»;

ГОСТ Р 1.2–92 «Государственная система стандартизации Российской Федерации. Порядок разработки государственных стандартов»;

ГОСТ Р 1.4–93 «Государственная система стандартизации Российской Федерации. Стандарты отраслей, стандарты предприятий, научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений. Общие положения»;

ГОСТ Р 1.5–92 «Государственная система стандартизации Российской Федерации. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов»;

ПР 50.1.001–93 «Правила согласования и утверждения технических условий».

Принятая в Российской Федерации система стандартизации обеспечивает и поддерживает в актуальном состоянии единый технический язык, унифицированные ряды важнейших технических характеристик продукции, систему строительных норм и правил; типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий для общего машиностроения и строительства; систему классификации технико-экономической информации, достоверные справочные данные о свойствах материалов и веществ.

В условиях рыночных отношений стандартизация выполняет три функции: экономическую, социальную и коммуникативную.

Экономическая функция позволяет заинтересованным сторонам получить достоверную информацию о продукции, причем в четкой и удобной форме. При заключении договора (контракта) ссылка на стандарт заменяет описание сведений о товаре и обязывает поставщика выполнять указанные требования и подтверждать их. В области инноваций анализ международных и прогрессивных национальных стандартов позволяет узнать и систематизировать сведения о техническом уровне продукции, современных методах испытаний, технологических процессах, а также (что немаловажно) исключить дублирование. Стандартизация методов испытаний позволяет получить сопоставимые характеристики продуктов, что играет большую роль в оценке уровня конкурентоспособности товара (в данном случае технической конкурентоспособности). Стандартизация технологических процессов, с одной сто-

роны, способствует совершенствованию качества продукции, а с другой – повышению эффективности управления производством.

Однако есть и другая сторона стандартного технологического процесса: возможность сравнительной оценки конкурентоспособности предприятия на перспективу. Постоянное применение только стандартизованных технологий не может обеспечить технологический прорыв, в том числе и передовые позиции на мировом рынке.

Социальная функция стандартизации заключается в том, что необходимо стремиться включать в стандарты и достигать в производстве таких показателей качества объекта стандартизации, которые содействуют здравоохранению, санитарно-гигиеническим нормам, безопасности в использовании и возможности экологичной утилизации продукта.

Коммуникативная функция связана с достижением взаимопонимания в обществе через обмен информацией. Для этого нужны стандартизованные термины, трактовки понятий, символы, единые правила делопроизводства и т. п.

Работы по государственной стандартизации финансируются в соответствии с положениями Закона РФ «О стандартизации». В нем выделены те направления деятельности, которые финансирует государство, и приведены источники финансирования.

Государственное финансирование предусмотрено:

для разработки стандартов, содержащих обязательные требования к объекту стандартизации в соответствии с законодательством России;

работ, связанных с созданием общероссийских классификаторов технико-экономической информации, публикацией информации об издании этих документов;

формирования и ведения федерального фонда государственных стандартов и Государственного реестра продукции и услуг, которые прошли сертификацию на соответствие обязательным требованиям государственных стандартов;

научных работ, связанных с важными проблемами стандартизации, имеющими общегосударственное значение;

работы в международных организациях по стандартизации.

Государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований стандартов также выделяется законом как важный объект для государственного финансирования.

Государство оказывает поддержку не только тем организациям, которые создают нормативные документы по стандартизации, но и тем субъектам

хозяйственной деятельности, которые производят продукцию или предлагают услуги, маркированные знаком соответствия обязательным требованиям государственных стандартов, что подтверждено посредством сертификации.

Особая экономическая поддержка предназначена для тех предприятий, которые выпускают новые перспективные виды продукции в соответствии с предварительными (перспективными) требованиями стандартов.

Органы и службы по стандартизации

Согласно Руководству 2 ИСО/МЭК деятельность по стандартизации осуществляют соответствующие органы и организации. Орган рассматривается как юридическая или административная единица, имеющая конкретные задачи и структуру. Это могут быть органы власти, фирмы, учреждения.

Стандартизацией занимается орган, деятельность которого в области стандартизации общепризнана на национальном, региональном или международном уровнях. Основные функции такого органа – разработка и утверждение нормативных документов, доступных широкому кругу потребителей.

Национальным органом по стандартизации в России является Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии (Госстандарт России). Это федеральный орган исполнительной власти, осуществляющий межотраслевую координацию, а также функциональное регулирование в области стандартизации, метрологии и сертификации.

Государственный комитет Российской Федерации по стандартизации и метрологии – специально уполномоченный федеральный орган исполнительной власти в области сертификации. Председатель Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии является главным государственным инспектором Российской Федерации по надзору за государственными стандартами и обеспечением единства измерений.

В ведении Государственного комитета Российской Федерации по стандартизации и метрологии находятся государственные инспекторы по надзору за государственными стандартами и обеспечением единства измерений, а также центры стандартизации, метрологии и сертификации, предприятия, учреждения, учебные заведения и иные организации.

Госстандарт России выполняет следующие функции:

координирует деятельность государственных органов управления, касающуюся вопросов стандартизации, сертификации, метрологии;

взаимодействует с органами власти республик в составе РФ и других субъектов Федерации в области стандартизации, сертификации, метрологии;

направляет деятельность технических комитетов и субъектов хозяйственной деятельности по разработке, применению стандартов, другим проблемам сообразно своей компетенции;

подготавливает проекты законов и других правовых актов в пределах своей компетенции;

устанавливает порядок и правила проведения работ по стандартизации, метрологии, сертификации;

принимает большую часть государственных стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической информации;

осуществляет государственную регистрацию нормативных документов, а также стандартных образцов веществ и материалов;

руководит деятельностью по аккредитации испытательных лабораторий и органов по сертификации;

осуществляет государственный надзор за соблюдением обязательных требований стандартов, правил метрологии и обязательной сертификации;

представляет Россию в международных организациях, занимающихся вопросами стандартизации, сертификации, метрологии и в Межгосударственном совете СНГ;

сотрудничает с соответствующими национальными органами зарубежных стран;

руководит работой научно-исследовательских институтов и территориальных органов, выполняющих функции Госстандарта в регионах;

осуществляет контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов, правил обязательной сертификации;

участвует в работах по международной, региональной и межгосударственной (в рамках СНГ) стандартизации;

устанавливает правила применения в России международных, региональных и межгосударственных стандартов, норм и рекомендаций;

при разработке государственных стандартов определяет организационно-технические правила; формы и методы взаимодействия субъектов хозяйственной деятельности как между собой, так и с государственными органами управления, которые будут включены в нормативный документ;

организует подготовку и повышение квалификации специалистов в области стандартизации.

В оргструктуре Госстандарта предусмотрены подразделения для реализации значительного объема работ: 19 научно-исследовательских институтов, 13 опытных заводов, Издательство стандартов, 2 типографии, 3 учебных за-

ведения, более 100 территориальных центров стандартизации, метрологии и сертификации (ЦСМ). На базе территориальных органов Госстандарта создаются органы по сертификации и испытательные лаборатории.

Работы по государственной стандартизации планируются. Составление планов находится в ведении Госстандарта РФ, который является основным заказчиком по государственным основополагающим стандартам, стандартам общих технических условий и технических условий в части их обязательных требований, по исследованиям в области международных и региональных стандартов относительно принятия и применения их в качестве государственных. Заказчиками могут быть также отраслевые ведомства, предприятия, научно-технические и другие общества, в том числе общества по защите прав потребителей.

Постоянными рабочими органами по стандартизации являются технические комитеты (ТК), но это не исключает разработку нормативных документов предприятиями, общественными объединениями, другими субъектами хозяйственной деятельности.

Основные функции ТК:

- определение концепций развития стандартизации в своей области;
- подготовка данных для годовых планов по стандартизации;
- составление проектов новых стандартов и обновление действующих;
- оказание научно-методической помощи организациям, участвующим в разработке стандартов и применяющим нормативные документы, в частности по анализу эффективности стандартизации;
- привлечение потребителей через союзы и общества потребителей.

По линии международной стандартизации ТК занимаются вопросами гармонизации отечественных стандартов с международными; готовят обоснование позиции России для голосования по проектам стандартов в международных организациях; участвуют в работе ТК международных (региональных) организаций по стандартизации, способствуя принятию государственных стандартов РФ в качестве международных, участвуют в организации проведения в России заседаний международных организаций по стандартизации и др.

Научно-технической базой для создания ТК обычно служат предприятия или организации, профиль деятельности которых соответствует специализации технического комитета. В их числе и научно-исследовательские институты Госстандарта РФ. Правовой основой для создания ТК служит реше-

ние этих государственных органов. Заинтересованные предприятия, организации могут проявлять инициативу по участию их специалистов в работе технического комитета, направлять предложения в один из указанных выше государственных органов. Госстандарт РФ привлекает к работе в ТК ведущих ученых и специалистов, представителей организаций – разработчиков продукции, производственных предприятий (фирм), предприятий – основных потребителей продукции (услуги), научных и инженерных обществ и обществ по защите прав потребителей.

Участие в деятельности технических комитетов всех заинтересованных сторон добровольное.

Другие субъекты хозяйственной деятельности, разрабатывающие нормативные документы (стандарты отраслей и предприятий), создают в своей оргструктуре специальные службы, которые координируют работу по созданию стандартов других участвующих в этом подразделений.

Порядок разработки стандартов

Работа технического комитета начинается со сбора заявок на разработку стандарта. Заявителями могут быть государственные органы и организации, общественные объединения, научно-технические общества, предприятия, фирмы, предприниматели, которые направляют заявки в ТК согласно закрепленным за ними объектам стандартизации.

В заявке обязательно должна быть обоснована необходимость разработки нормативного документа, не исключено также приложение к ней уже разработанного заявителем проекта стандарта.

На основании заявок Госстандарт РФ формирует годовой план государственной стандартизации России.

Дальнейшая работа проводится на основе договоров на разработку стандарта между заявителем и соответствующим ТК и включает следующие этапы: составление технического задания (организацией-разработчиком или ТК), разработку проекта стандарта, представление окончательного варианта проекта в Госстандарт РФ для принятия, обновление стандарта, пересмотр и отмену стандарта.

В техническом задании определяют: сроки выполнения каждой стадии, включенной в содержание работы в целом; содержание и структуру будущего стандарта и перечень требований к объекту стандартизации; список заинтересованных потенциальных потребителей этого стандарта (государственные органы, предприятия, фирмы и т. п.).

Разработка проекта проходит две стадии. Вначале создается первая редакция. Основные требования к первой редакции касаются соответствия проекта законодательству России, международным правилам и нормам, а также национальным стандартам зарубежных стран при условии прогрессивности этих документов и более высокого научно-технического уровня. Важный момент на этой стадии – определение патентной чистоты объекта стандартизации, для чего необходимы соответствующие исследования и надлежащее информационное обеспечение.

Проект в первой редакции, составленный подкомитетом и рабочей группой, члены ТК должны рассмотреть либо на специальном заседании, либо путем переписки, чтобы удостовериться в его соответствии условиям договора на разработку стандарта, требованиям российского законодательства и положениям Государственной системы стандартизации. После этого проект рассылается на отзыв заказчикам стандарта и выявленным ранее заинтересованным организациям.

Вторая стадия разработки заключается в анализе полученных отзывов, составлении окончательной редакции проекта нормативного документа и подготовке его к принятию. Окончательная редакция должна быть рассмотрена членами ТК, органами государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований стандарта, научно-исследовательскими институтами Госстандарта. Проект стандарта направляется в Госстандарт РФ, а также и заказчику нормативного документа.

Принятие стандарта осуществляет Госстандарт РФ. Процедура принятия включает обязательный анализ содержания проекта на соответствие законодательству России, метрологическим правилам и нормам, терминологическим стандартам, а также ГОСТ Р 1.5–91 «ГСС. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов».

Стандарт должен соответствовать достижениям научно-технического прогресса и не быть препятствием для развития экономики. Но поскольку срок действия его не устанавливается, необходима постоянная работа всех членов ТК и заинтересованных сторон, направленная на своевременное обновление нормативного документа.

С целью получения информации для актуализации стандартов технические комитеты ведут постоянную работу по поддержанию обратной связи с предприятиями и организациями, принимающими стандарты, а также анализируют предложения, поступающие от членов ТК, по внесению изменений

в действующие нормативные документы. При необходимости обновления стандарта ТК разрабатывает проект изменения, проект пересмотренного стандарта или предложения по отмене действующего нормативного документа и вносит предложение в Госстандарт РФ.

Пересмотр государственного стандарта по существу является разработкой нового, который затем принимают взамен действующего. Необходимость пересмотра возникает в том случае, если вносимые изменения связаны со значительной корректировкой основных показателей качества продукции и затрагивают ее совместимость и взаимозаменяемость.

Отмена стандарта может осуществляться как с заменой его новым, так и без замены. Причиной, как правило, служит прекращение выпуска продукции (оказания услуг), которая производилась по данному нормативному документу, либо принятие нового стандарта.

Решение о внесении изменений, пересмотре или отмене стандарта отрасли принимает орган государственного управления, утвердивший данный нормативный документ. Отмена стандарта отрасли обычно связана либо со снятием продукции с производства, либо с введением в действие государственного стандарта на тот же объект стандартизации с такими же или более высокими требованиями и нормами.

Обновление или отмена стандарта предприятия осуществляется по решению руководства самого субъекта хозяйственной деятельности, принявшего этот стандарт.

Стандарты научно-технических обществ, общественных объединений пересматривают с целью внесения в них новых результатов научных исследований или производственных достижений, связанных с внедрением изобретений и научных открытий. Отмена этой категории нормативных документов связана с моральным устареванием объекта стандартизации.

Все субъекты хозяйственной деятельности, которым предоставлено право разработки, обновления и отмены стандартов, обязаны информировать о проделанной работе и ее результатах Госстандарт РФ.

Государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований стандартов

Государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов осуществляется в России на основании Закона РФ «О стандартизации» и составляет часть государственной системы стандартизации.

На современном этапе государственный контроль приобретает социально-экономическую ориентацию, поскольку основные его усилия направлены на проверку строгого соблюдения всеми хозяйственными субъектами обязательных норм и правил, обеспечивающих интересы и права потребителя, защиту здоровья и имущества людей и среды обитания.

К основным задачам госнадзора можно отнести: предупреждение и пресечение нарушений обязательных требований государственных стандартов, правил обязательной сертификации и Закона РФ «О единстве измерений» всеми субъектами хозяйственной деятельности; предоставление информации органам исполнительной власти и общественным организациям по результатам проверок. Проводят госнадзор должностные лица Госстандарта и подведомственных ему центров стандартизации и метрологии, получивших статус территориальных органов госнадзора, – государственные инспекторы [11].

Главный государственный инспектор России – председатель Госстандарта РФ, а главные государственные инспекторы республик в составе РФ и других субъектов Федерации – руководители центров стандартизации и метрологии, т. е. территориальных органов госнадзора. Государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов осуществляют также и другие организации. В частности, Государственная инспекция по торговле, качеству товаров и защите прав потребителей (Госторгинспекция) проводит контроль за качеством и безопасностью потребительских товаров. Такие обязательные требования стандартов, как совместимость и взаимозаменяемость, информационная совместимость, не входят в компетенцию Госторгинспекции. Государственный комитет РФ по охране окружающей среды осуществляет государственный экологический контроль. Государственной санитарно-эпидемиологической службе предоставлены полномочия по надзору за соблюдением санитарного законодательства при разработке, производстве, применении всех видов продукции, в том числе и импортируемой.

Проверкам в процессе госнадзора подвергается продукция (на всех стадиях ее жизненного цикла), в том числе подлежащая обязательной сертификации и импортируемая; услуги населению, виды работ, которые подлежат обязательной сертификации; техническая документация на продукцию; деятельность испытательных центров, лабораторий и органов по сертификации.

Права и обязанности государственных инспекторов определены Законом РФ «О стандартизации». Им предоставлены достаточно широкие права

как представителям государственных органов управления, в силу чего они находятся под защитой государства.

Государственный инспектор имеет право:

иметь свободный доступ в служебные и производственные помещения проверяемого предприятия (организации), получать всю необходимую документацию, проводить отбор проб и образцов, выдавать предписания об устранении выявленных отклонений, запрещать или приостанавливать поставку (реализацию) продукции, не соответствующей обязательным требованиям государственных стандартов, а также в случае отказа от предъявления ее к проверке;

по результатам проверок облагать нарушителей обязательных требований стандартов штрафами, а также применять строгое наказание к невыполняющим запрет на реализацию (штраф в размере стоимости реализованной продукции). Запрет на реализацию продукции (услуги) при их несоответствии обязательным требованиям российских нормативных документов распространяется и на импортную продукцию (услугу), тем более, если она не прошла сертификацию в соответствии с российским законодательством;

направить необходимые материалы в арбитражный суд, органы прокуратуры или суд, если выданные им предписания или постановления не выполняются предприятием – объектом госнадзора.

Государственным инспекторам предоставлены широкие права, но если они не выполняют возложенные на них обязанности, относятся к ним ненадлежащим образом или замечены в разглашении государственных (коммерческих) секретов, то несут ответственность в установленном законом порядке.

В перспективе госнадзор предусматривает не только штрафные санкции, но и меры поощрения. Одной из них является премия Правительства РФ в области качества продукции. Кроме того, реализуется программа «100 лучших товаров», призванная не только стимулировать российские предприятия, но и привлекать внимание потребителей к отечественной продукции.

Основная форма государственного контроля и надзора – выборочная проверка. В процессе проверки проводятся испытания, измерительный контроль, технический осмотр, идентификация, другие мероприятия, обеспечивающие достоверность и объективность результатов. Госстандарт России устанавливает приоритетные направления госнадзора, которые прежде всего учитываются при его планировании. В дополнение к ним проверки могут быть назначены в связи с целевыми заданиями Госстандарта, для информиро-

вания Госреестра России о продукции, которая прошла сертификацию, или об аккредитации испытательных лабораторий и др. Госнадзор за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и за сертифицированной продукцией осуществляет государственный инспектор или комиссия, возглавляемая им. Госнадзор за соблюдением правил обязательной сертификации осуществляет комиссия, состав которой определяет председатель Госстандарта.

Контролю подвергается образец (или проба), отбираемый в соответствии с установленной в стандарте на данную продукцию методикой. Идентификация и технический осмотр продукции проводятся государственным инспектором с привлечением специалистов предприятия, а испытания образцов (проб) осуществляют сотрудники проверяемого субъекта хозяйственной деятельности под наблюдением государственного инспектора. Результаты испытания образцов распространяются на всю партию продукции, от которой они отобраны.

Если контроль касается продукции, подлежащей обязательной сертификации, госинспектор проверяет наличие и подлинность выданного ранее сертификата соответствия, правильность применения знака соответствия до начала испытаний образца.

Проверка соблюдения правил обязательной сертификации касается аккредитованных испытательных центров (лабораторий). Проверяющая комиссия устанавливает: наличие лицензии на право осуществления сертификационных испытаний и аттестата аккредитации испытательного центра (лаборатории), соответствие видов испытываемой продукции профилю лаборатории, состояние нормативной базы и испытательного оборудования, соблюдение программы и методик испытаний. Если проверяется работа органа по сертификации, то комиссия прежде всего убеждается в правомочности работы органа и наличии необходимого фонда нормативных документов на сертифицируемую продукцию. Кроме того, контролируется правильность оформляемой документации (сертификатов соответствия) и ее регистрации, а также обоснованность отказов в выдаче сертификатов, если это имело место.

По результатам испытаний оформляют протокол испытаний, а проведение проверки заканчивают составлением акта.

Социальный эффект госнадзора характеризуется следующими показателями:

предотвращенный ущерб от приобретения опасных и недоброкачественных товаров (млн. руб.);

защита жизни и здоровья людей от применения опасной продукции (на-тур. ед.);

количество потребителей, защищенных от опасных и недоброкачественных продукции или услуг (чел.).

Экономический эффект определяют:

поступлением средств в доходную часть федерального бюджета — штрафы (млн. руб.);

компенсацией затрат из федерального бюджета на проведение госнадзора;

упущенной выгодой (млн. руб.), которая определяет доход или иное благо, не полученное лицом вследствие причинения ему вреда либо нарушения его права неисполнением обязательства, по которому оно было кредитором. Обычно представляет собой неполученную прибыль и подлежит возмещению как составная часть убытков или безвозвратных потерь.

Упущенная выгода складывается из стоимости запрещенной продукции, штрафных санкций и затрат субъектов хозяйственной деятельности на исправление брака (несоответствий), которые, по данным зарубежной практики, составляют в среднем 12 % от объема запрещенной к реализации продукции.

Технологический эффект характеризуется тремя показателями:

уровнем выявления нарушений (%);

уровнем устранения нарушений (%);

интенсивностью надзора (количество проверок на одного инспектора в год).

Маркировка продукции знаком соответствия государственного стандарта

В связи с тем, что не все требования стандартов обязательны, а носят рекомендательный характер, возникла проблема стимулирования предприятий к переходу на производство продукции в соответствии с нормативными документами.

Если продукция подлежит обязательной сертификации, то сертификат соответствия и знак соответствия служат для потребителя гарантией ее безопасности. А как быть с качеством? Следуя практике зарубежных стран, где для информации потребителя о качестве товара используют знаки соответствия стандарту, Госстандарт РФ принял нормативный документ ГОСТ Р 1.9–95 «Порядок маркирования продукции и услуг знаком соответствия госу-

дарственным стандартам». Маркировка знаком не заменяет сертификацию, если продукция обязательно подлежит ей.

В соответствии с этим документом предприятия-изготовители как отечественные, так и любого другого государства могут добровольно по своей инициативе использовать знак соответствия, если их продукция производится в полном соответствии с требованиями российского государственного стандарта. При этом они обязаны соблюдать правила и процедуры указанного выше нормативного документа.

Чтобы иметь право маркировать свою продукцию этим знаком, необходимо получить лицензию в территориальном органе Госстандарта России. А для этого надо выполнить ряд условий.

Прежде всего представить территориальному органу достоверные доказательства соответствия конкретной продукции всем требованиям государственного стандарта, по которому она производится. Это должен быть нормативный документ вида технических условий, технических требований и методов контроля (испытаний, измерений, анализа). Территориальный орган Госстандарта проводит оценку полноты и объективности представленных доказательств.

Кроме того, требуется приложить к заявлению о выдаче лицензии: декларацию изготовителя о соответствии продукции всем требованиям стандарта; для продукции, подлежащей обязательной сертификации, – копию сертификата соответствия (то же по добровольной сертификации); копию сертификата на систему качества либо заключение о результатах анализа производства; копии протоколов испытаний.

Перечисленные документы говорят о большом объеме работы, который надлежит проделать предприятию, прежде чем будет получено право использовать знак соответствия стандарту.

Если анализ документов убеждает территориальный орган в правоте притязаний заявителя, лицензия выдается. В противном случае может последовать отказ или предложение о дополнительных испытаниях продукции и повторной оценке производства с обязательным участием представителей территориального органа.

Международная информационная система

Ведущую роль по информационному обеспечению работы органов по стандартизации всех стран мира играет Международная организация по стандартизации (ИСО), в частности Комитет по информационным системам и услугам (ИНФКО).

К компетенции ИНФКО относятся: координация и гармонизация деятельности ИСО и членов организации в области информационных услуг, баз данных, маркетинга, продажи стандартов и технических регламентов; консультирование Генеральной ассамблеи ИСО по разработке политики гармонизации стандартов и другим, указанным выше вопросам; контроль и руководство деятельностью Информационной сети ИСО (ИСОНЕТ).

Кроме этих основных задач ИНФКО выполняет большое количество работ, связанных с информационной деятельностью: разрабатывает руководства по организации и работе информационных центров по стандартизации; проводит анализ и изучение рынка информационных и маркетинговых услуг; составляет и распространяет рекомендации по общим принципам сбора, хранения, поиска, обмена информацией; организует и ведет системы производства и распространения документов в ИСО и содействует взаимодействию этих систем; популяризирует международные стандарты в области информационных услуг и поощряет их применение; организует обмен опытом и информацией о работе различных информационных центров; сотрудничает с международными организациями по вопросам информации и сопряженной с ней деятельности; предпринимает действия по приему и регистрации членов ИСОНЕТ. Такой широкий диапазон работы и послужил основанием для современного названия комитета (прежнее название – Комитет по информации).

Информационная система ИСОНЕТ входит в состав группы по информации ИНФКО. Приоритетные цели ИСОНЕТ – обеспечение обмена информацией о международных и национальных стандартах, о документах по стандартизации (в том числе правительственных), об изданиях книг, справочников и учебной литературы в области стандартизации; установление контактов с информационными системами других международных организаций (ООН, ЮНЕСКО, МАГАТЭ и др.) и создание единого информационного языка, тезауруса.

В ИСОНЕТ состоят более 60 национальных членов, около 10 ассоциированных и международных членов и информационный центр ИСО/МЭК. Россия представлена Госстандартом РФ (ассоциированный член ИСОНЕТ).

Информационное обеспечение стандартизации в России

В России информационное обеспечение организовано на базе положений Закона РФ «О стандартизации». Закон исходит из того, что официальная информация о разрабатываемых и принятых нормативных документах, в том

числе и международных, должна быть доступна заинтересованным организациям и лицам в той части, которая не рассматривается как государственная тайна.

Госстандарту РФ предоставлено исключительное право официального опубликования информации, касающейся продукции и услуг, сертифицированных и маркированных знаком соответствия государственным стандартам.

Госстандарт РФ не только организует публикацию официальной информации о российских, международных, региональных, национальных нормативных документах, правилах, нормах и рекомендациях по стандартизации, но и ведет Федеральный информационный фонд стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической информации, международных (региональных) стандартов, правил, норм и рекомендаций по стандартизации, национальных стандартов зарубежных стран.

Головной институт в области информационного обеспечения – ВНИИ-КИ РФ (Всероссийский научно-исследовательский институт классификации, терминологии и информации по стандартизации и качеству) ведет фонд отечественных, международных, региональных и зарубежных стандартов, а также имеет автоматизированные банки данных.

Институт выполняет функцию национального информационного центра ИСОНЕТ. Участие в ИСОНЕТ имеет для РФ весьма важное значение, так как дает возможность безвозмездно получать регулярную информацию о национальных стандартах зарубежных стран, а также сами стандарты развитых стран. Ежегодно поступает 7–7,5 тыс. наименований.

В целях совершенствования системы информационного обеспечения Госстандартом РФ создан Информационный комитет по стандартизации, метрологии и сертификации (ИНФКОС). Главная цель ИНФКОС – научно-методическое и практическое руководство работами по информационному обеспечению стандартизации, сертификации и метрологии в стране на базе Федерального фонда стандартов и автоматизированных банков данных.

ИНФКОС взаимодействует с отечественными и национальными органами других стран, решая задачи координации деятельности информационных служб, интеграции научных достижений и производства, содействия оперативной обработке и доведению до заказчиков комплексной информации, расширения сотрудничества.

Основополагающим нормативным документом, в соответствии с которым формируется Федеральный фонд стандартов, служит Положение о порядке создания и правилах пользования Федеральным фондом стандартов (далее – Положение), утвержденное Правительством РФ. В Положении Федеральный фонд определен как совокупность нормативных документов по стандартизации, метрологии и сертификации, которые содержат разработанные для многократного использования правила, характеристики, требования и нормы, относящиеся к продукции, процессам, услугам.

Федеральный фонд состоит из информационных фондов нормативных документов, которые создаются и ведутся субъектами хозяйственной деятельности, принимающими их.

Основные виды документов, которыми комплектуется Федеральный фонд, следующие:

- нормативные акты РФ, касающиеся вопросов стандартизации, сертификации, метрологии;

- государственные реестры;

- правила и рекомендации в этих областях;

- государственные стандарты и их проекты, общероссийские классификаторы технико-экономической информации;

- стандарты отраслей и информация о стандартах научно-технических, других общественных организаций, международные договоры в области стандартизации, метрологии и сертификации;

- нормативные документы, принятые международными, региональными, национальными организациями зарубежных стран.

Значительный объем информации, которая должна быть включена в Федеральный фонд, сосредоточен в информационном центре ВНИИКИ. В частности, в нем собрано более 32 тыс. действующих отраслевых стандартов и более 100 тыс. действующих технических условий.

В системе Госстандарта России действует ряд научно-исследовательских институтов, каждый из них ведет большую работу по стандартизации, сертификации и метрологии и располагает информационными фондами применительно к определенной области.

Всероссийский научно-исследовательский институт сертификации (ВНИИС) имеет информационный центр стандартов, других нормативных и методических документов, относящихся к системе сертификации ГОСТ Р.

Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС) может представлять основополагающие нормативные

документы Государственной системы измерений, а также стандарты, правила и рекомендации по метрологии.

Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации (ВНИИСтандарт) специализируется на информации о стандартах, касающихся оборонной техники.

Издательство стандартов также имеет свой центр информации, в котором собираются все издания по стандартизации, сертификации и метрологии.

Общероссийские классификаторы

С развитием информационных технологий приобрели актуальность методы классификации и кодирования информации. В бывшем СССР существовали довольно хорошая научно-методическая база и широкая система классификаторов технико-экономической информации.

Без общероссийского классификатора невозможно решение проблемы согласованности межведомственных потоков информации. Кроме того, необходимо обеспечить сопоставимость классификаторов различных федеральных органов управления и международных организаций, а также информационную совместимость международных и национальных информационных систем. В России создается Единая система классификации и кодирования технико-экономической и социальной информации (ЕСКК). Ее составляющие – общероссийские классификаторы технико-экономической и социальной информации, средств их ведения, нормативных и методических документов по их разработке, ведению и применению.

Объектами классификации и кодирования в ЕСКК выступают: статистическая информация, макроэкономическая финансовая и правоохранительная деятельность, банковское дело, бухгалтерский учет, стандартизация, сертификация, производство продукции, предоставление услуг, таможенное дело, торговля и внешнеэкономическая деятельность. Общее руководство и координацию работ по созданию ЕСКК осуществляют Госстандарт РФ и Госкомстат РФ.

Госстандарт России принял более 20 общероссийских классификаторов, и число их будет расширяться по мере интеграции России в мировую экономику.

На сегодняшний день на стадии внедрения находятся более 25 взаимосвязанных между собой классификаторов.

Действующие общероссийские классификаторы (наименование и аббревиатура Общероссийского классификатора):

Общероссийский классификатор предприятий и организаций (ОКПО).

Общероссийский классификатор органов государственной власти и управления (ОКОГУ).

Общероссийский классификатор экономических районов (ОКЭР).

Общероссийский классификатор видов экономической деятельности, продукции и услуг (ОКДГТ).

Общероссийский классификатор специальностей по образованию (ОКСО).

Общероссийский классификатор занятий (ОКЗ).

Общероссийский классификатор управленческой документации (ОКУД).

Общероссийский классификатор продукции (ОКП).

Общероссийский классификатор информации по социальной защите населения (ОКИСЗН).

Общероссийский классификатор услуг населению (ОКУН).

Общероссийский классификатор стандартов (ОКС).

Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (ОКПДТР).

Общероссийский классификатор основных фондов (ОКОФ).

Общероссийский классификатор валют (ОКБ).

Общероссийский классификатор изделий и конструкторских документов машиностроения и приборостроения (Классификатор ЕСКД).

Общероссийский классификатор единиц измерения (ОКЕИ).

Общероссийский классификатор специальностей высшей научной классификации (ОКСВНК).

Госстандарт России располагает информационным фондом, который составляет ядро Федерального фонда стандартов. В нем хранятся стандарты государственной и других категорий, действующих в РФ и СНГ (около 22 тыс.); более 30 тыс. международных стандартов; более 250 тыс. национальных стандартов зарубежных стран; общероссийские классификаторы; документы по отраслевой стандартизации, сертификации и метрологии.

Передача информации возможна как по российским, так и по международным телекоммуникационным сетям ROSPAC, RELCOM, SPRINT и INTERNET.

Международные стандарты на системы обеспечения качества продукции

Мировой опыт управления качеством был сконцентрирован в пакете международных стандартов ИСО 9000, принятых Международной организацией по стандартизации (ИСО) в марте 1987 г.

К сегодняшнему дню объекты стандартизации этой серии международных стандартов значительно расширились и охватывают не только элементы систем качества, критерии их выбора и модели систем обеспечения качества, но и способы проверок действующих систем качества, критерии квалификационных характеристик экспертов-аудиторов. Приняты международные стандарты по управлению качеством услуг, перерабатываемых материалов, программного обеспечения. Значительная работа проделана в методическом аспекте: принят ряд руководящих указаний, разъясняющих содержание отдельных составляющих системы обеспечения качества.

В этой связи международные стандарты по обеспечению качества теперь называют «семейством» стандартов ИСО серии 9000.

Международный стандарт ИСО 9000 имеет три варианта: ИСО 9000-1 – руководящие указания по выбору и применению конкретных стандартов; ИСО 9000-2 – общие руководящие указания по применению стандартов ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003; ИСО 9000-3 – руководящие указания по применению стандарта ИСО 9001 для программного обеспечения при его разработке, поставке и обслуживании.

Стандарт ИСО 9000-4 представляет собой руководство по управлению программой надежности.

Методический стандарт ИСО 9004 также дифференцирован: ИСО 9004-1 – это описание элементов системы обеспечения качества; ИСО 9004-2 – руководящие указания по системам качества услуг; ИСО 9004-3 включает руководящие указания по системам качества перерабатываемых материалов; ИСО 9004-4 – руководящие указания по улучшению качества.

Таким образом усилена методическая часть «семейства» стандартов ИСО серии 9000.

К этому добавились методические стандарты с шифром 10000.

Нормативные стандарты ИСО 9001, ИСО 9002 и ИСО 9003 остаются основными моделями систем обеспечения качества на различных стадиях производственного процесса.

В ИСО 9000-1 подчеркивается, что внутри фирмы или предприятия обеспечение качества – предмет общего руководства. Но если речь идет о за-

ключении контракта, то состояние системы обеспечения качества у экспортера служит мерой доверия к нему со стороны контрагента, мерой уверенности в надежности партнера. В связи с этим в контракте может быть предусмотрена оценка системы обеспечения качества у экспортера на соответствие одному из стандартов ИСО 9001–9003 до заключения контракта. Оценку может проводить либо сам импортер, либо нейтральная организация по договоренности сторон. Оценка не понадобится, если система сертифицирована и контрагент признает сертификат соответствия. В обновленной версии стандарта ИСО 9000-1 определены четыре ключевых аспекта качества, обусловленного:

- определением спроса на продукцию;
- проектированием продукции;
- соответствием;
- поддержанием параметров продукции на всех стадиях ее жизненного цикла.

Практика конкурентоспособных зарубежных фирм показала, что качественный товар, соответствующий запросам покупателей, может быть изготовлен лишь с учетом комплексного исследования рынка. Этот опыт отражен в стандарте «петля качества», который начинается с маркетинга и заканчивается маркетингом.

Система обеспечения качества складывается из мер и действий, которые распространяются на все стадии «петли качества». Организационная структура системы управления качеством включается в общий процесс управления деятельностью фирмы.

Сегмент рынка, на котором работает фирма, цикл жизни товаров постоянно изучают для своевременного выявления изменений в спросе, тенденций развития спроса и принятия соответствующих управленческих решений для обеспечения должного уровня качества продукции. Маркетинговая служба предоставляет фирме информацию о требованиях рынка к товарам, в том числе об эксплуатационных характеристиках и надежности изделий, уровне дизайна, цвете, упаковке, действующих стандартах и технических регламентах, методах проверки качества и т. п. Эти сведения становятся основой для последующих работ по проектированию новых изделий или модификации выпускаемых товаров.

Маркетинговая функция обеспечивает постоянную обратную связь с потребителями, что позволяет своевременно принимать необходимые решения в области управления качеством.

Международные стандарты ИСО 9000 устанавливают степень ответственности руководства за качество. Руководство фирмы отвечает за разработку политики в области качества, за создание, внедрение и функционирование системы управления качеством, что должно четко определяться и оформляться документально.

К обязанностям руководства относятся подбор специалистов и выделение необходимых ресурсов для производственного, контрольно-измерительного и испытательного оборудования, программного обеспечения ЭВМ. Руководство должно устанавливать требуемый уровень компетенции, следить за своевременностью повышения квалификации персонала. Выпуск новых товаров и предоставление дополнительных услуг связаны с подготовкой новых программ качества, за что также ответственно руководство фирмы.

Особенность современной системы управления качеством состоит в наличии в ее структуре внутренней проверки системы, анализа и оценки эффективности.

Если внутренние проверки осуществляются силами специалистов самой фирмы, то анализ и оценка эффективности системы управления качеством должны проводиться компетентными независимыми лицами, которых приглашает руководство компании.

Принципиально важная особенность системы, предлагаемой стандартами ИСО, состоит в обязательных определениях и оценках расходов (затрат) на качество. Анализ затрат на качество можно рассматривать как экономическую оценку эффективности системы, а результаты такого анализа берут за основу при совершенствовании программ обеспечения качества. На зарубежных фирмах затраты на качество рассматриваются как основа установления размера вложений в систему обеспечения качества.

В рамках систем управления качеством затраты на качество обычно классифицируют на затраты (расходы) изготовителя и другие расходы. Расходы изготовителя складываются из предупредительных, оценочных, затрат из-за внутренних отказов, издержек из-за внешних отказов.

Оценочные затраты складываются из расходов на оценку качества. Это затраты на испытания и приемочный контроль исходных материалов; командировочные расходы специалистов, направленных на заводы поставщиков для проверки качества сырья; лабораторные испытания сырья и материалов; проверки контрольно-измерительных приборов и их ремонт; технический контроль; испытания изделий для оценки их эксплуатационных характери-

стик; затраты времени рабочих на проверку ими качества своей работы и технологического процесса, отбраковку в процессе производства (самоконтроль); надзор за качеством и системами качества (при долговременном выпуске традиционной продукции ослабевает внимание к ее качеству, поэтому требуется проводить внеплановый контроль или надзор).

Затраты из-за внутренних отказов образуются по причинам потерь качества, обнаруженных до отправки изделий заказчику.

Издержки из-за внешних отказов включают: расходы на доработку товара в течение гарантийного срока по рекламациям покупателей; расходы по устранению дефектов в процессе технического обслуживания; штрафы за низкое качество в рамках юридической ответственности за качество; расходы, связанные с возвратом товара ненадлежащего качества (или вышедших из строя отдельных узлов, деталей). Другие расходы на качество, которые учитываются в управлении качеством на фирмах, не несет непосредственно изготовитель, но они в значительной степени влияют на общие расходы фирмы и нередко включаются в основные статьи затрат на комплексные системы обеспечения качества продукции.

Косвенные затраты на качество обычно возникают из-за выполнения таких производственных операций, которые можно вполне исключить, и их существование объясняется неуверенностью изготовителя в качестве производимой продукции.

Расходы поставщиков на качество должны обязательно принимать во внимание потребители сырья, поскольку они влияют на уровень закупочных цен.

Непредвиденные расходы выражаются в уменьшении объема сбыта вследствие возникновения отрицательной реакции покупателей на товары фирмы. Наиболее распространенной причиной этого могут быть высокие издержки потребителей на техническое обслуживание, а также частые отказы изделий.

Расходам на качество, связанным с потреблением товара, фирмы уделяют много внимания, так как в конечном итоге они отражаются на объеме сбыта продукции. Информация о расходах у потребителя служит основанием для внесения соответствующих изменений в систему обеспечения качества.

Фирмы планируют общие затраты на качество. По каждой статье предусматривается ведение отчетности на основе анализа и контроля. По данным американских экспертов, затраты на качество многих фирм достигают 20 %

от суммы продаж, причем наблюдается их ежегодный рост на 5–7 %. Внедрение же эффективной системы управления качеством, работающей по принципу предупреждения, а не обнаружения дефектов, позволяет снизить уровень затрат на качество до 2,5 %.

Следующей принципиальной особенностью системы управления качеством является усиленное внимание к обеспечению качества при проектировании и разработке технических условий.

При разработке проекта должны быть гарантированы безопасность изделия и его экологическая безвредность.

Для снижения степени риска появления брака на стадии производства в системе предусматривают периодическую оценку и проверку соответствия проекта требованиям, предъявляемым к качеству товара. Периодическому анализу подлежат:

- требования потребителя и возможности их удовлетворения;
- технические условия на продукцию и требования к качеству услуг;
- требования к производству и техническому обслуживанию.

Определяя степень удовлетворения требований покупателей в разрабатываемом проекте, следует сравнивать запросы потребителей (краткое описание продукции) с техническими требованиями к продукции, технологическому процессу и материалам.

Анализ технических условий на продукцию и требований к качеству услуг включает оценку надежности, удобства монтажа и сборки, сохранности и возможности утилизации. Должны быть проверены требования к маркировке, этикетированию, инструкциям по использованию и пр.

При анализе требований к производству и техническому обслуживанию оценивают возможность изготовления продукции по этому проекту и проведения технического контроля проекта, готовность поставщиков и технические условия на поставляемые ими материалы и комплектующие изделия. Проверяются также требования к упаковке, сроку годности и условиям хранения, погрузочно-разгрузочным операциям.

Проверка проекта, которая может проводиться одновременно с периодическим анализом или независимо от него, базируется на альтернативных расчетах, испытаниях опытного образца по четкой программе с фиксированием полученных данных.

Система обеспечения качества на стадии проектирования должна включать анализ готовности производства к выпуску новой или усовершенствованной продукции.

ванной продукции. Должны быть предусмотрены обучение персонала грамотному использованию (эксплуатации) продукции и проведение проверки первых образцов изделий, их упаковки и этикетирования.

В системе управления качеством необходимо также предусматривать обратную связь с потребителем, так как его опыт эксплуатации товара и опыт, накопленный в процессе производства, служат основой для внесения соответствующих изменений в проект.

В системе обеспечения качества предусмотрена такая форма обратной связи, как надзор самого производителя за качеством продукции. С этой целью создается механизм раннего обнаружения отклонений от качества, позволяющий получать данные об отказах и возврате продукции и своевременно принимать меры корректирующего воздействия. Обратная связь должна существовать на протяжении всего срока службы изделия, что дает возможность постоянно контролировать степень удовлетворения потребностей покупателя качеством товара или услуги.

Международная организация по стандартизации (ИСО)

Международная организация по стандартизации создана в 1946 г. двадцатью пятью национальными организациями по стандартизации. Фактически работа ее началась с 1947 г. СССР был одним из основателей организации, постоянным членом руководящих органов, дважды представитель Госстандарта избирался председателем организации. Россия стала членом ИСО как правопреемник распавшегося государства.

При создании организации и выборе ее названия учитывалась необходимость того, чтобы аббревиатура наименования звучала одинаково на всех языках. Для этого было решено использовать греческое слово *isos*, т. е. равный. Вот почему на всех языках мира Международная организация по стандартизации имеет краткое название ISO (ИСО).

Сфера деятельности ИСО касается стандартизации во всех областях, кроме электротехники и электроники, относящихся к компетенции Международной электротехнической комиссии (МЭК). Некоторые виды работ выполняются совместными усилиями этих организаций. Кроме стандартизации ИСО занимается и проблемами сертификации.

Определяет свои задачи ИСО следующим образом: содействовать развитию стандартизации и смежных видов деятельности в мире с целью обеспечения международного обмена товарами и услугами, а также сотрудничеству в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях.

Остальные стандарты относятся к здравоохранению и медицине, охране окружающей среды, другим техническим областям. Вопросы информационной технологии, микропроцессорной техники и т. п. – это объекты совместных разработок ИСО/МЭК. В последние годы ИСО уделяет много внимания стандартизации систем обеспечения качества. Практическим результатом усилий в этих направлениях являются разработка и издание международных стандартов. При их разработке ИСО учитывает ожидания всех заинтересованных сторон – производителей продукции (услуг), потребителей, правительственных кругов, научно-технических и общественных организаций.

На сегодняшний день в состав ИСО входят 120 стран со своими национальными организациями по стандартизации. Россию представляет Госстандарт РФ в качестве комитета-члена ИСО. Всего в составе ИСО более 80 комитетов-членов. Кроме комитетов-членов членство в ИСО может иметь статус членов-корреспондентов, которыми являются организации по стандартизации развивающихся государств.

Сильные национальные организации в странах-членах ИСО являются опорой для ее функционирования. Поэтому комитетами-членами признаются только те организации, которые наилучшим образом отражают положение своей страны в области стандартизации и имеют значительный опыт и компетентность, что требуется для эффективной деятельности по международной стандартизации.

Национальные организации – это проводники всех достижений ИСО в свои страны, а также выразители национальной точки зрения в соответствующих технических комитетах организации.

Непосредственную работу по созданию международных стандартов ведут технические комитеты, подкомитеты, которые могут учреждать ТК, и рабочие группы (РГ) по конкретным направлениям деятельности.

Официальные языки ИСО – английский, французский, русский. На русский язык переведено около 70 % всего массива международных стандартов ИСО.

Схема разработки международного стандарта сводится к следующему: заинтересованная сторона в лице комитета-члена, технического комитета, комитета Генеральной ассамблеи (либо организации, не являющейся членом ИСО) направляет в ИСО заявку на разработку стандарта. Генеральный секретарь по согласованию с комитетами-членами представляет предложение в Техническое руководящее бюро о создании соответствующего ТК.

После достижения консенсуса в отношении проекта стандарта ТК передает его в Центральный секретариат для регистрации и рассылки всем комитетам-членам на голосование. Если проект одобряется 75 % голосовавших, он публикуется в качестве международного стандарта.

В технической работе ИСО участвуют свыше 30 тыс. экспертов из разных стран мира. ИСО пользуется мировым авторитетом как честная и беспристрастная организация и имеет высокий статус среди крупнейших международных организаций.

Стандарты ИСО очень широко используются во всем мире, их более 10 тыс., причем ежегодно пересматриваются и принимаются вновь 500–600 стандартов.

Весьма широки деловые контакты ИСО: с ней поддерживают связь около 500 международных организаций, в том числе все специализированные агентства ООН, работающие в смежных направлениях.

В то же время ИСО поддерживает постоянные рабочие отношения с региональными организациями по стандартизации. Поэтому при разработке региональных стандартов за основу принимается стандарт ИСО, нередко еще на стадии проекта. Наиболее тесное сотрудничество поддерживается между ИСО и Европейским комитетом по стандартизации (СЕН).

Крупнейший партнер ИСО – Международная электротехническая комиссия (МЭК).

Международные стандарты ИСО не имеют статуса обязательных для всех стран-участниц. Любая страна мира вправе применять или не применять их. В российской системе стандартизации нашли применение около половины международных стандартов ИСО.

По своему содержанию стандарты ИСО отличаются тем, что лишь около 20 % из них включают требования к конкретной продукции. Основная же масса нормативных документов касается требований безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, методов испытаний продукции, а также других общих и методических вопросов.

Региональные организации по стандартизации

Европейский комитет по стандартизации (СЕН)

Европейский комитет по стандартизации (до 1970 г. Европейский комитет по координации стандартов) существует с 1961 г. Членами СЕН являются национальные организации по стандартизации 18 европейских государств: Австрии, Бельгии, Великобритании, Греции, Дании, Германии, Испании, Исландии, Италии, Люксембурга, Норвегии, Нидерландов, Португалии, Финляндии, ФРГ, Франции, Швеции, Швейцарии.

Процесс стандартизации на европейском уровне для СЕН включает планирование, разработку и принятие стандарта на основе консенсуса всех заинтересованных сторон.

В ряде случаев подготовка проекта стандарта проводится в рамках ИСО, причем руководителем проекта назначается представитель европейской страны-члена ЕС.

Основная цель СЕН – содействие развитию торговли товарами и услугами путем разработки европейских стандартов (евронорм, EN). Он разрабатывает европейские стандарты в таких областях, как оборудование для авиации, водонагревательные газовые приборы, газовые баллоны, комплектующие детали для подъемных механизмов, газовые плиты, сварка и резка, трубопроводы и трубы, насосные станции и др.

Один из принципов работы СЕН – обязательное использование международных стандартов ИСО как основы для разработки евростандартов либо дополнение тех результатов, которые достигнуты ИСО.

Высший орган СЕН – Генеральная ассамблея.

Генеральная ассамблея избирает Административный совет, выполняющий следующие функции:

установление правил и способов применения национальных стандартов стран-участниц и международных стандартов при разработке европейских стандартов;

определение возможности прямого использования национального или международного нормативного документа в качестве европейского стандарта и контроль за его соблюдением;

координация работ по национальной стандартизации в рамках региона.

Политика в области стандартизации определяется коллегией директоров – представителей национальных организаций и утверждается Генеральной ассамблеей.

Техническая работа по стандартизации выполняется техническими комитетами, деятельность которых координируется Техническим бюро.

Технические комитеты работают по следующим направлениям:

строительство и гражданское строительство;

машиностроение;

здравоохранение;

здравоохранение и безопасность на рабочих местах;

теплоснабжение, охлаждение и вентиляция;

транспорт и упаковка;

информационная технология.

Задача комитетов по обеспечению программ (программных комитетов) – ускорение разработки евростандартов путем анализа уже имеющихся международных или прогрессивных национальных стандартов и сбора такой информации, которую быстро и эффективно можно использовать в СЕН.

Процедура принятия стандарта включает одобрение проекта рабочей группой технического комитета, рассылку проекта техническим бюро всем странам-членам СЕН в лице национальных организаций по стандартизации для голосования в установленный срок. Евронорма (европейский стандарт) считается принятой, если против проекта подано не более 20 % голосов.

Стандартизация в Содружестве Независимых Государств (СНГ)

Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации, которое является межправительственным и действует с 1992 г., определило: в рамках СНГ стандартизация, сертификация и метрология осуществляются в соответствии с созданным Межгосударственным советом стран-участниц СНГ (МГС), в котором представлены все национальные организации по стандартизации этих государств. Он принимает межгосударственные стандарты.

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

Работа по стандартизации ведется в соответствии с программами, которые МГС составляет на основе обобщения предложений, поступающих от национальных органов по стандартизации.

В области сертификации принят Перечень межгосударственных нормативных документов, устанавливающих единые порядки сертификации приоритетных групп продукции и услуг, который содержит 21 документ по сертификации пищевых продуктов, продовольственного сырья, игрушек, столовых приборов, табака, чая, средств связи и др.

В рамках СНГ действует Соглашение о взаимном признании результатов сертификации.

Наиболее сложной проблемой в работе МГС считается разработка региональной системы подтверждения соответствия. На сегодняшний день каждая страна действует по правилам национальных систем сертификации со своими знаками соответствия. Переход на единые правила и единый знак соответствия оказался болезненным и, как ожидается, будет долгим, хотя все полномочные представители стран заявили о его необходимости. Особое мнение высказывает Украина, считая создание региональной системы нецелесообразным.

В МГС рассмотрен вопрос об условиях прямого применения европейских стандартов в качестве межгосударственных для стран СНГ.

При этом должны соблюдаться следующие правила:

на форзаце должно быть указание о том, какому европейскому стандарту соответствует стандарт СНГ;

в выходных данных необходимо указать, что воспроизведение документа любыми средствами возможно только с согласия СЕН;

все национальные стандарты стран СНГ, противоречащие евронормам, должны быть изъяты из обращения;

все копии стандартов, являющихся прямым применением евронорм, необходимо в обязательном порядке направлять в СЕН.

В области метрологии реализуются программы совместных работ в нескольких направлениях: передача размеров единиц физических величин; разработка и пересмотр основополагающих межгосударственных нормативных документов по метрологии; создание и применение стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов; методы неразрушающего контроля.

Ставится также вопрос о возможности участия в работе МГС национальных организаций по стандартизации стран, не являющихся членами СНГ. Интерес к этой области проявляют, в частности, бывшие участники СЭВ.

Вопросы для самопроверки

1. Основы организации и технологии стандартизации.
2. Нормативные документы и виды стандартов.
3. Применение нормативных документов и характер их требований.
4. Ответственность за нарушение обязательных требований стандартов.
5. Правовые основы и задачи стандартизации.
6. Органы и службы по стандартизации.
7. Порядок разработки стандартов.
8. Государственный контроль и надзор за соблюдением обязательных требований стандартов.
9. Маркировка продукции знаком соответствия государственного стандарта.
10. Международная информационная система.
11. Информационное обеспечение стандартизации в России.
12. Общероссийские классификаторы.
13. Международные стандарты на системы обеспечения качества продукции.
14. Международная организация по стандартизации (ИСО).
15. Региональные организации по стандартизации.

5. СЕРТИФИКАЦИЯ

Сертификация в переводе с латыни означает «сделано верно». Для того чтобы убедиться в том, что продукт сделан верно, надо знать, каким требованиям он должен соответствовать и каким образом возможно получить достоверные доказательства этого соответствия. Общеизвестным способом такого доказательства служит сертификация соответствия.

Организация ИСО/МЭК предлагает термин «соответствие» (Assurance of conformity), указывая, что это процедура, в результате которой может быть представлено заключение, дающее уверенность в том, что продукция (процесс, услуга) соответствует заданным требованиям.

Это может быть:

заявление поставщика о соответствии (supplier's declaration), т. е. его письменная гарантия в том, что продукция соответствует заданным требованиям; заявление, которое может быть напечатано в каталоге, накладной, руководстве об эксплуатации или другом сообщении, относящемся к продукции; это может быть также ярлык, этикетка и т. п.;

сертификация (certification) – процедура, посредством которой третья сторона дает письменную гарантию, что продукция (процесс, услуга) соответствует заданным требованиям.

Термин «заявление поставщика о соответствии» означает, что поставщик (изготовитель) под свою личную ответственность заявляет о том, что его продукция отвечает требованиям конкретного нормативного документа. Согласно Руководству 2 ИСО/МЭК это является доказательством осознанной ответственности изготовителя и готовности потребителя сделать продуманный и определенный заказ.

Заявление изготовителя, которое называют также заявлением-декларацией, содержит следующие сведения: адрес изготовителя, представляющего заявление-декларацию, обозначение изделия и дополнительную информацию о нем; наименование, номер и дату публикации стандарта, на который ссылается изготовитель; указание о личной ответственности изготовителя за содержание заявления и др.

Представляемая информация должна быть основана на результатах испытаний. Ссылка на стандарт не означает утверждения изделия организацией, принявшей этот стандарт. Изготовитель не имеет права пользоваться знаками соответствия стандартам.

Подтверждение соответствия через сертификацию предполагает обязательное участие третьей стороны. Такое подтверждение соответствия, осуществляемое по правилам определенной процедуры, дает гарантию соответствия заданным требованиям.

Сертификация считается основным достоверным способом доказательства соответствия продукции (процесса, услуги) заданным требованиям.

Процедуры, правила, испытания и другие действия, которые можно рассматривать как составляющие самого процесса (деятельности) сертификации, могут быть различными в зависимости от ряда факторов. Среди них – законы, касающиеся стандартизации, качества и непосредственно сертификации; особенности объекта сертификации, что, в свою очередь, определяет выбор метода проведения испытаний, и т. д. Другими словами, доказательство соответствия проводится по той или иной системе сертификации. В соответствии с указанным документом ИСО/МЭК – это система, которая осуществляет сертификацию по своим собственным правилам, касающимся как процедуры, так и управления.

Систему сертификации (в общем виде) составляют: центральный орган, который управляет системой, проводит надзор за ее деятельностью и может передавать право на проведение сертификации другим органам; правила и порядок проведения сертификации; нормативные документы, на соответствие которым осуществляется сертификация; процедуры (схемы) сертификации; порядок инспекционного контроля. Системы сертификации могут действовать на национальном, региональном и международном уровнях. Если система сертификации занимается доказательством соответствия определенного вида продукции (процесса, услуги), то это система сертификации однородной продукции, которая в своей практике применяет стандарты, правила и процедуры, относящиеся именно к данной продукции. Несколько таких систем сертификации однородной продукции со своими органами и другими составляющими могут входить в общую систему сертификации.

В оценке соответствия наиболее достоверными считаются результаты испытаний третьей стороной. Третья сторона – это лицо или орган, признанные независимыми ни от поставщика (первая сторона), ни от покупателя (вторая сторона).

Под испытанием понимается техническая операция, заключающаяся в определении одной или нескольких характеристик данной продукции в соответствии с установленной процедурой по принятым правилам. Испытания

осуществляют в испытательных лабораториях, причем это название употребляют по отношению как к юридическому, так и к техническому органу.

Сущность обязательной и добровольной сертификации

Сертификация может носить обязательный и добровольный характер.

Обязательная сертификация осуществляется на основании законов и законодательных положений и обеспечивает доказательство соответствия товара (процесса, услуги) требованиям технических регламентов и обязательным требованиям стандартов. Поскольку обязательные требования этих нормативных документов относятся к безопасности, охране здоровья людей и окружающей среды, то основным аспектом обязательной сертификации являются безопасность и экологичность. В зарубежных странах действуют прямые законы по безопасности изделий (например, директивы ЕС). Поэтому обязательная сертификация проводится на соответствие указанным в них требованиям (непосредственно либо в виде ссылки на стандарт).

В России обязательная сертификация введена Законом РФ «О защите прав потребителя». Для осуществления обязательной сертификации создаются системы обязательной сертификации. Их цель – доказательство соответствия продукции, подлежащей обязательной сертификации, требованиям технических регламентов, стандартов, которые в законодательном порядке обязательны к выполнению, либо обязательным требованиям стандартов. Номенклатура объектов обязательной сертификации устанавливается на государственном уровне управления.

Добровольная сертификация проводится по инициативе юридических или физических лиц на договорных условиях между заявителем и органом по сертификации в системах добровольной сертификации. Допускается проведение добровольной сертификации в системах обязательной сертификации органами по обязательной сертификации. Нормативный документ, на соответствие которому осуществляются испытания при добровольной сертификации, выбирает, как правило, заявитель. Заявителем может быть изготовитель, поставщик, продавец, потребитель продукции.

В отличие от обязательной сертификации, объекты которой и подтверждение их соответствия связаны с законодательством, добровольная сертификация касается видов продукции (процессов, услуг), не включенных в обязательную номенклатуру и определяемых заявителем (либо в договорных отношениях). Правила и процедуры системы добровольной сертификации

определяются органом по добровольной сертификации. Однако так же, как и в системах обязательной сертификации, они базируются на рекомендациях международных и региональных организаций в этой области. Решение о добровольной сертификации обычно связано с проблемами конкурентоспособности товара, продвижением товаров на рынок (особенно зарубежный); предпочтениями покупателей, все больше ориентирующихся в своем выборе на сертифицированные изделия. Как правило, развитие добровольной сертификации поддерживается государством.

Сертификация и технические барьеры в торговле

Возникновение сертификации связано с предоставлением потребителю гарантий по соответствию покупаемых им товаров требованиям конкретных стандартов. С развитием сертификации стало очевидным ее положительное влияние на торговые связи между государствами: сроки получения разрешения на ввоз значительно сократились для сертифицированного товара; не требуется повторных испытаний в принимающей стране, если она признавала сертификат поставщика.

Однако по мере увеличения количества национальных систем сертификации все более отчетливо обозначились их различия. Эти различия связаны как со стандартами, на соответствие которым проводятся сертификационные испытания, так и с законами, на основании которых введена сертификация, а также с правилами процедуры сертификации и пр. В связи с этим в международной торговле и определилась роль сертификации как технического барьера.

Сертификационные барьеры возникают не только по указанным причинам, которые в определенной степени складываются объективно. Совсем иной механизм возникновения препятствий в торговле имеет превращение сертификации в способ протекционизма для защиты внутреннего (или регионального, как в ЕС) рынка от проникновения товаров иностранного производства. В таких случаях используют усложнение административной стороны испытаний импортируемых товаров, ужесточают контроль качества, принимают стандарты (государственные или региональные), касающиеся процедуры испытаний (например, европейские стандарты серии 45000), что отражается на порядке признания зарубежных сертификатов, а для некоторых стран признание вообще оказывается невозможным.

Таким образом, вероятность превращения стандарта в инструмент конкурентной борьбы велика, а поскольку иностранному поставщику подобной

продукции придется доказывать ее соответствие, как правило, в таких случаях весьма высоким требованиям, получить сертификат соответствия достаточно проблематично.

Американская корпорация испытательных лабораторий, например, представляющая собой национальную организацию по сертификации, обычно предпочитает заниматься сертификацией продукции крупных фирм-изготовителей, в то время как небольшие предприятия могут долго ждать своей очереди. В международной торговле сложились жесткие правила по признанию зарубежного сертификата на импортируемую продукцию. Для успешного экспорта необходимо получить сертификат соответствия авторитетной, признанной во всех странах организации. А для этого требуются продолжительное время и немалые финансовые затраты.

По процедурам оценки соответствия Соглашение обязывает страны-участницы гарантировать выполнение центральными правительственными органами следующих положений:

принимать такие процедуры оценки, которые не создают дискриминации для иностранных поставщиков как по самой процедуре, так и по оплате за эту услугу. Дополнительных неудобств не должно создавать и месторасположение испытательного оборудования;

поставщик должен иметь возможность проводить оценку соответствия на месте изготовления с получением знака системы;

процедуры оценки не должны быть более строгими или применяться более строго, чем это необходимо для удостоверения соответствия товара техническому регламенту (стандарту). Не должны создаваться препятствия в международной торговле и путем задержки испытаний; по просьбе заявителя его необходимо информировать о ходе оценки и объяснить причины задержки;

соблюдение конфиденциальности информации об испытуемом товаре необходимо для защиты законных коммерческих интересов.

Если продукция, которая признана соответствующей техническому регламенту (стандарту), модифицирована, то следует процедуру ее оценки ограничить. В этом случае надо убедиться лишь в том, что продукция продолжает отвечать предъявленным требованиям.

В качестве нормативной основы для процедуры оценки соответствия необходимо применять международные стандарты, руководства и рекомендации, изданные или находящиеся на завершающей стадии разработки в международных организациях. Для того чтобы достигнуть более полной степени

гармонизации процедур оценки соответствия, странам-участницам следует использовать все возможности для активного участия в деятельности международных организаций по стандартизации.

При отсутствии международных разработок, а также когда национальные правила процедур оценки соответствия не гармонизованы с международными, страны-участницы обязаны: открыто публиковать сообщения о намерениях принятия конкретной процедуры оценки соответствия и на какие виды продукции она распространяется; уведомлять другие страны-участницы об этих нововведениях и предоставлять им время для обсуждения и подготовки письменных замечаний.

Если при рассмотрении странами-участницами подобных нововведений возникают проблемы, касающиеся национальной безопасности, угрозы жизни и здоровья людей, экологии, то страна имеет право отказаться от соответствующих положений.

Страны-участницы несут ответственность за выполнение тех требований данного Соглашения, которые касаются их компетенции.

Странам-участницам рекомендуется расширять круг партнеров по признанию результатов оценки соответствия. Соглашение рекомендует также странам-участницам без каких-либо дискриминирующих ограничений допускать к участию в оценке соответствия органы других стран-участниц, выполняющие адекватную работу.

В отношении международных и региональных систем оценки соответствия главные рекомендации Соглашения таковы: страны-участницы обязаны дать гарантию, что если их центральные правительственные органы принимают международные (региональные) системы, то они исключают те их положения, которые противоречат всему изложенному выше.

В области информации о технических регламентах, стандартах и процедурах оценки соответствия Соглашение обязывает каждую страну-участницу организовать справочную службу. Эта служба должна обеспечить связь между странами-участницами, отвечая на их запросы и предоставляя заинтересованным органам стран-участниц документы, которые касаются: технических регламентов или стандартов (принятых на любом уровне); любых процедур оценки соответствия, действующих или предлагаемых на их территории; членства или участия в международных (региональных) организациях по стандартизации или системах оценки соответствия, двусторонних и многосторонних соглашениях; места расположения справочных служб и пе-

чатных изданий, в которых публикуется уведомление, относящееся к предмету данного Соглашения.

Любая страна-участница обязана уведомлять другие страны-участницы о том, какие соглашения, связанные с вопросами процедур оценки соответствия, стандартов или технических регламентов, она заключает, если такие соглашения могут повлиять на торговые отношения.

С целью дальнейшего совершенствования, усиления степени гармонизации с международными правилами и еще большего приближения государственных систем стандартизации и сертификации к требованиям ВТО в России приняты концепции перспективного развития этих областей деятельности. Они отражены в двух документах: Концепция национальной системы стандартизации и Концепция совершенствования сертификации и перехода к механизму оценки и подтверждения соответствия продукции и услуг. Российская национальная система сертификации открыта для зарубежных стран. В ней признаются зарубежные сертификаты, выданные компетентными органами и подтверждающие соответствие товара требованиям соответствующего нормативного документа.

Для России вопросы признания или взаимного признания могут решаться различными путями:

участием в международных системах сертификации и в работе международных организаций, занимающихся проблемами сертификации;

заключением соглашений с национальными органами зарубежных стран о взаимном признании сертификации и результатов испытаний;

созданием технических центров Госстандарта за рубежом;

аккредитацией зарубежных органов по сертификации и испытательных лабораторий в российской системе сертификации;

заключением соглашений между отечественными и зарубежными испытательными лабораториями и взаимном признании протоколов испытаний.

Правовые основы сертификации

Сертификацию в России проводят в соответствии с общегосударственными законами РФ «О защите прав потребителей», «О сертификации продукции и услуг», «О стандартизации», а также с законами РФ, относящимися к определенным отраслям, «О ветеринарии», «О пожарной безопасности», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», иными правовыми актами РФ, направленными на решение отдельных социально-

экономических задач (более 30 актов), указами президента и актами правительства (около 50 актов).

Закон РФ «О защите прав потребителей», принятый в 1992 г., установил ряд принципиально новых положений и закрепил права потребителей, признаваемые во всех цивилизованных странах: право на безопасность товаров, работ и услуг для жизни и здоровья; право на надлежащее качество приобретаемых товаров, выполняемых работ и оказываемых услуг; право на возмещение ущерба и судебную защиту прав и интересов потребителя, а также предусмотрел механизм защиты потребителей, права которых нарушены при продаже недоброкачественных товаров либо при ненадлежащем выполнении работ и оказании услуг.

На основании отдельных статей закона Правительство РФ утверждает разного рода подзаконные акты, правила по договорам купли-продажи, по продаже отдельных видов товаров, выполнению отдельных видов работ и т. д.

В целях обеспечения безопасности товаров (работ, услуг) Закон РФ «О защите прав потребителей» вводит обязательную сертификацию. Сертификация подтверждает соответствие качества товара обязательным требованиям государственных стандартов.

На основании ст. 5 Закона обязательной сертификации подлежат:

товары (работы, услуги), на которые в законодательных актах, государственных стандартах установлены требования, направленные на обеспечение безопасности жизни, здоровья потребителей и охраны окружающей среды, а также на предотвращение причинения вреда имуществу потребителей;

средства, обеспечивающие безопасность жизни и здоровья потребителей.

Партия товара, реализуемого через розничную торговую сеть, или каждая единица товара должны сопровождаться сертификатом соответствия, который продавец обязан предъявить покупателю по его требованию.

В области сертификации законом определены следующие обязанности Госстандарта РФ:

определение порядка сертификации и номенклатуры товаров (работ, услуг), подлежащих обязательной сертификации;

аккредитация органов по сертификации, контрольных видов товаров (работ, услуг) и испытательных лабораторий (центров), а также предоставление права проведения аккредитации другим юридическим лицам;

осуществление контроля за правильностью проведения сертификации;

ведение Государственного реестра сертифицированных товаров, аккредитованных органов по сертификации и испытательных лабораторий;

принятие решений о признании сертификатов, выданных зарубежными и международными организациями;

представление России во взаимоотношениях с зарубежными странами и в международных организациях по вопросам сертификации.

Закон определяет следующие цели сертификации:

создание условий для деятельности организаций всех форм собственности на едином товарном рынке России, участия в международном экономическом, научно-техническом сотрудничестве и международной торговле;

содействие потребителям в выборе товара и защита их от недобросовестности изготовителя (продавца, исполнителя);

контроль безопасности продукции для жизни, здоровья и имущества людей и окружающей среды;

подтверждение показателей качества продукции, заявленных изготовителем.

Закон однозначно трактует право на создание системы сертификации: «система сертификации создается государственными органами управления, предприятиями, учреждениями и организациями и представляет собой совокупность участников сертификации», которые проводят сертификацию по тем правилам и в том порядке, как это принято в данной системе и в соответствии с положениями Закона РФ «О сертификации продукции и услуг». В Законе установлены общие положения о сертификате и знаке соответствия, об обязанностях Госстандарта РФ по разработке правил их регистрации и применения.

Закон предусматривает, что система сертификации может создаваться только юридическими лицами. Форма собственности юридического лица и организационная форма не регламентируются.

Принципы, правила и порядок проведения сертификации продукции

В начале 1990-х годов российский внутренний рынок стремительно заполнялся различными товарами, в основном зарубежного производства. Нередко обнаруживались случаи несоответствия их качества российским требованиям и нормам, а также и недоброкачественности. Такая ситуация потребовала действенных мер, и как единственная форма подтверждения соответствия была введена обязательная сертификация.

Потребность общества в радикальных переменах в экономике, форсируемый переход к рыночным отношениям не давали возможности быстро пе-

рестроить принципы сертификации согласно современным международным правилам и нормам, хотя как правовое обеспечение, так и нормативное базировалось на рекомендациях и руководствах ИСО/МЭК. В последние годы стало очевидным, что отставание практики российской сертификации, ее организации, применение сертификации в качестве единственного способа подтверждения соответствия превратились в тормоз интеграции страны в мировую хозяйственную систему. Требования, предъявляемые к России в связи с вступлением в ВТО, также касались и сертификации.

Для решения данной проблемы разработаны меры, изложенные в Концепции совершенствования системы сертификации и перехода к механизму подтверждения соответствия. Реализация концепции дает возможность:

- найти приемлемый баланс между риском потребителя и издержками на сертификацию;

- создать благоприятный климат для добросовестных и законопослушных производителей и поставщиков товаров;

- обеспечить необходимые условия для вступления России в ВТО и др.

Положительным итогом сертификации в России является создание инфраструктуры сертификации и испытаний, которые базируются на системе государственной стандартизации. Это важно потому, что переход к подтверждению соответствия путем декларации изготовителя, по мнению специалистов Госстандарта, не потребует дополнительных бюджетных средств.

Переход на новые принципы подтверждения соответствия потребует надлежащей правовой базы, внесения ряда дополнений и изменений во все законодательные акты, касающиеся сертификации, принятия этих актов, пересмотра нормативной базы сертификации и внедрения ее в практику.

Рассмотрим ее организационные и методические принципы:

- обеспечение достоверности информации об объекте сертификации;

- объективность и независимость от изготовителя и потребителя;

- профессиональность испытаний;

- исключение дискриминации по отношению к иностранным заявителям;

- право заявителя выбирать орган по сертификации и испытательную лабораторию; ответственность участников сертификации;

- открытость информации о результатах сертификации или о прекращении срока (отмене) сертификата (знака) соответствия;

- многообразие методов испытаний с учетом особенностей объекта сертификации, его производства и потребления;

использование в деятельности по сертификации рекомендаций и правил ИСО/МЭК, региональных организаций, положений международных стандартов и других международных документов;

признание аккредитации зарубежных органов по сертификации и испытательных лабораторий, сертификатов и знаков соответствия в РФ на основе многосторонних и двусторонних соглашений, в которых участвует Россия;

соблюдение конфиденциальности информации, составляющей коммерческую тайну;

привлечение в необходимых случаях к работам по сертификации обществ потребителей.

На сегодняшний день сертификация охватывает более 75 % наименований производимой в стране продукции.

По данным Госстандарта, номенклатура потенциально опасной продукции составляет 90 %. Согласно задачам, которые определены Концепцией, к товарам, подлежащим обязательной сертификации, теперь будут отнесены только те, которые обладают наибольшей потенциальной опасностью. На сегодняшний день в номенклатуру продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации, включены только те объекты, которые в соответствии с законодательством проходят сертификацию в системе ГОСТ Р под руководством Госстандарта РФ. В номенклатуру входят товары для личных нужд граждан, продукция производственно-технического назначения и услуги тех же профилей. Головной организацией, которая составляет номенклатуру и вносит в нее требуемые коррективы, является ВНИИС.

Правила по проведению сертификации устанавливают общие рекомендации, которые применяют при организации и проведении работ по обязательной и добровольной сертификации. Эти правила распространяются на все объекты сертификации российского и зарубежного происхождения, а также могут служить основой для организации систем сертификации однородной продукции.

Для обеспечения возможности признания российских сертификатов и знаков соответствия за рубежом правила и рекомендации составлены в соответствии с действующими международными нормами и правилами, изложенными в руководствах ИСО/МЭК, международных стандартах ИСО, европейских стандартах, документах других международных и региональных организаций, осуществляющих сертификацию.

Национальный орган по сертификации – Госстандарт РФ – формирует государственную политику в области сертификации и устанавливает общие

правила сертификации, проводит государственную регистрацию систем сертификации, знаков соответствия, ведет их Государственный реестр.

Правила определяют основные действия и функции, которые осуществляет Госстандарт РФ и другие государственные органы управления по созданию и работе систем сертификации однородной продукции. Они устанавливают процедуры проведения сертификации в рамках создаваемой системы, выбирают схемы сертификации, определяют центральные органы системы (если сами не выполняют функции центральных органов), разрабатывают правила аккредитации и выдачи лицензий, если система относится к обязательной сертификации; аккредитуют органы по сертификации и испытательные лаборатории и выдают им соответствующие лицензии.

Федеральные органы исполнительной власти, создавшие свои системы обязательной сертификации, имеют право выдавать сертификаты соответствия и лицензии на использование знаков соответствия. При формировании систем обязательной сертификации Госстандарт РФ и другие государственные органы управления решают вопросы состава, количества и географического размещения органов по сертификации и испытательных лабораторий.

Организация работы по формированию системы сертификации однородной продукции и руководство ею, а также координация работы органов по сертификации и испытательных лабораторий в составе системы – основные задачи центрального органа каждой системы сертификации. В его компетенцию входит рассмотрение апелляций, содержащих претензии к действию органов по сертификации и испытательных лабораторий, а также ведение учета сертификатов, лицензий на использование знака соответствия, обеспечение информацией о системе.

Обязанности органа по сертификации включают: сертификацию продукции, выдачу сертификатов и лицензий на применение знака соответствия; проведение инспекционного контроля за сертифицированной продукцией; отмену (приостановление) действия выданных им сертификатов и лицензий; формирование и обновление фонда нормативных документов, на соответствие которым в системе сертифицируется продукция; предоставление заявителю запрашиваемой информации.

Аккредитованная испытательная лаборатория занимается испытаниями конкретных видов продукции либо специализируется на проведении определенного типа испытаний, располагая для этого нужным оборудованием, а также оформлением и выдачей протоколов испытаний.

Изготовители (продавцы, исполнители) продукции как участники сертификации также должны знать и исполнять свои функции: составление заявки на проведение сертификации; представление продукции и необходимой документации к ней в соответствии с правилами той системы, где будет проводиться сертификация. Основное требование к изготовителям – обеспечение соответствия реализуемой продукции требованиям нормативных документов, на соответствие которым она сертифицирована. На основании законодательных актов России, правил системы сертификации и выданной лицензии изготовители применяют знак соответствия, маркируя им свой товар.

Если изготовитель продукции вносит изменения в технологию производства и это отражается на параметрах качества сертифицированного товара, подлежащих обязательной сертификации, он должен сообщить об этом органу по сертификации.

При проведении работ в области сертификации Госстандарт РФ рекомендует придерживаться следующих правил: допускать к аккредитации в качестве органов по обязательной сертификации и испытательных лабораторий организации любых форм собственности: частной, государственной, муниципальной и др. К этим организациям предъявляют требования компетентности и независимости, что должно полностью исключить влияние со стороны изготовителя и потребителя на результаты испытаний и сертификации; аккредитацию должны организовывать и осуществлять Госстандарт России и другие федеральные органы исполнительной власти на основании результатов аттестации организаций, претендующих выполнять функции сертификационных органов. Аттестацию проводят комиссии, в состав которых включают экспертов, представителей изготовителей и обществ потребителей, научно-исследовательских организаций, территориальных органов Госстандарта, других государственных органов управления. Документ, который оформляется по результатам аккредитации, называется аттестатом аккредитации.

В системе может быть аккредитовано несколько органов по сертификации одной и той же продукции. В таком случае заявителю предоставлено право выбора органа, который будет заниматься сертификацией его продукции.

Орган по сертификации однородной продукции устанавливает схемы, по которым возможно сертифицировать продукцию в соответствующей системе.

При положительных результатах сертификации орган по сертификации выдает сертификат соответствия и лицензию на применение знака соответствия.

Инспекционный контроль за центральными органами, органами по сертификации и испытательными лабораториями входит в функции Госстандарта РФ и других государственных органов управления. Если же схема сертификации включает инспекционный контроль за сертифицированной продукцией, то его проводят органы, осуществившие сертификацию.

Вся информация о центральных органах по сертификации, аккредитованных органах и испытательных лабораториях, утвержденных системах сертификации однородной продукции, аттестованных экспертах и т. п. содержится в Государственном реестре, который ведет Госстандарт РФ.

Правила проведения работ по сертификации предусматривают возможность возникновения спорных ситуаций. В таких случаях любой участник сертификации имеет право обратиться в Госстандарт и другие федеральные органы исполнительной власти по профилю системы сертификации, в центральный орган или орган по сертификации однородной продукции с апелляцией.

Правила содержат отдельное положение по добровольной сертификации, четко оговаривающее функции юридического лица, которое выступает в роли органа по сертификации. Это юридическое лицо формирует структуру системы и разрабатывает ее правила и знак соответствия, которые подлежат регистрации в Госстандарте РФ.

При формировании системы сертификации однородной продукции следует учитывать наличие аналогичной международной системы, сходство характеристик и требований к продукции, возможность проводить испытания одними и теми же методами, сходство конструкции технических устройств и другие специальные параметры.

Система сертификации однородной продукции должна быть зарегистрирована в Госстандарте РФ. В ней документально оформляют: перечень товаров, сертификация которых возможна в системе; нормативные документы, на соответствие которым сертифицируется продукция; структура системы и функции ее участников; применяемые схемы сертификации; правила отбора и идентификации испытуемых образцов продукции; формы сертификата и знак соответствия; условия признания зарубежных сертификатов и протоколов испытаний; порядок инспекционного контроля, рассмотрения апелляций и взаимодействия с Госстандартом РФ или другим федеральным органом исполнительной власти в соответствии с областью деятельности.

Общие принципы порядка сертификации соответствуют Руководствам ИСО/МЭК по данному вопросу.

Характеристики товара, которые проверяют при сертификации, выбирают с учетом следующих основных критериев, которые должны позволить идентифицировать продукцию (проверить принадлежность к группе классификатора, ее происхождение, принадлежность к определенной производственной партии и т. п.). Немаловажно при этом установить соответствие продукции приложенной технической документации.

Отбираемые характеристики должны полно и достоверно подтвердить нормы безопасности, экологичности, установленные в нормативных документах на эту продукцию.

Могут потребоваться и такие характеристики, которые отражают другие требования, подлежащие обязательной сертификации в соответствии с законодательными актами. Совокупность других проверяемых показателей определяется исходя из целей сертификации конкретной продукции.

При выборе схемы сертификации учитывают особенности производства, испытаний, поставки и применения конкретной продукции, требуемый уровень доказательности, необходимые затраты заявителя. Определяет схему обязательной сертификации Госстандарт РФ и другие федеральные органы, на которые возложено руководство сертификацией. Схему добровольной сертификации выбирает заявитель и предлагает ее органу по сертификации.

Порядок проведения сертификации устанавливает последовательность действий, составляющих совокупную процедуру сертификации:

- Подача заявки на сертификацию. Заявитель направляет заявку в соответствующий орган по сертификации, а при его отсутствии – в Госстандарт РФ или другой федеральный орган управления. Орган по сертификации рассматривает заявку в установленный порядок сертификации однородной продукции срок (в среднем один месяц) и сообщает заявителю решение, которое в числе различных сведений, необходимых заявителю, указывает, какие органы и испытательные лаборатории может выбрать заявитель.
- Отбор, идентификация образцов и их испытания. Образцы для испытаний отбирает, как правило, испытательная лаборатория или другая организация по ее поручению. В отдельных случаях этим занимается орган по сертификации. Образцы, прошедшие испытания, хранятся в течение срока, предусмотренного правилами системы сертификации конкретной продукции. Протоколы испытаний представляют заявителю и в орган по сертификации, их хранение соответствует сроку действия сертификата.
- Оценка производства. В зависимости от выбранной схемы сертификации проводят анализ состояния производства, сертификацию производства

либо сертификацию системы управления качеством. Метод оценки производства указывают в сертификате соответствия продукции.

- Выдача сертификата соответствия. Протоколы испытаний, результаты оценки производства, другие документы о соответствии продукции, поступившие в орган по сертификации, подвергают анализу для окончательного заключения о соответствии продукции заданным требованиям.

- Составление заключения экспертом по результатам оценки. Это главный документ, на основании которого орган по сертификации принимает решение о выдаче сертификата соответствия. При положительном решении оформляют сертификат, в котором указывают основания для его выдачи и регистрационный номер, без которого сертификат недействителен.

Если заключение эксперта отрицательное, орган по сертификации выдает заявителю решение об отказе с указанием причин.

Сертификат на такие виды продукции, на которые распространяются особые требования в области безопасности (например, санитарные, ветеринарные и т. п.), выдается только при наличии гигиенического, ветеринарного, фитосанитарного и других специальных сертификатов, доказывающих их безвредность и другие специфические качества. Средства измерений до получения сертификата соответствия должны пройти государственный метрологический контроль и поверку. Эти положения относятся как к отечественной, так и импортируемой продукции.

Информация о том, что продукт сертифицирован, содержится в технической (техпаспорт, этикетка и пр.) и товаросопроводительной документации.

Применение знака соответствия. Изготовитель получает право маркировки сертифицированной продукции знаком соответствия только при наличии лицензии от органа по сертификации.

Инспекционный контроль за сертифицированной продукцией проводят, если это предусмотрено схемой сертификации, в течение всего срока действия сертификата и лицензии на применение знака соответствия (не реже одного раза в год). Форма контроля – периодические и внеплановые проверки с испытанием образцов для доказательства того, что производимая продукция продолжает соответствовать требованиям, подтвержденным сертификацией.

Приостановление действия сертификата и знака возможно в таких ситуациях, когда изготовитель продукции, по согласованию с органом по сертификации, может принять корректирующие меры и снова представить образец продукции на подтверждение его соответствия, если это возможно без по-

вторных испытаний. В противном случае действие сертификата и лицензии отменяется.

Корректирующие мероприятия назначают в случаях нарушения соответствия продукции установленным требованиям и правилам применения знака соответствия.

Мероприятия назначает орган по сертификации, который приостанавливает действие сертификата и лицензии на использование знака соответствия, о чем информирует заинтересованных участников сертификации. Изготовитель в такой ситуации обязан уведомить потребителей и все заинтересованные организации об опасности пользования продукцией. Если корректирующие мероприятия привели к положительным результатам, орган по сертификации обязует изготовителя применять другую маркировку изделия, о чем информирует участников сертификации. При невыполнении или неэффективности корректирующих мер сертификат и лицензия на знак соответствия аннулируют.

Схемы сертификации

Схемы сертификации, применяемые в России, разработаны с учетом рекомендаций ИСО/МЭК и практики подтверждения соответствия в ЕС [11].

Схема 1 ограничивается лишь испытанием в аккредитованной лаборатории типа, т. е. типового образца, взятого из партии товара. Она применяется для изделий сложной конструкции. Схема 1а включает дополнение к схеме 1 – анализ состояния производства.

Схема 2 несколько усложняется, так как помимо испытания образца, после чего заявитель уже получит сертификат соответствия, в ней предусмотрен инспекционный контроль за сертифицированной продукцией, находящейся в торговле. Для этого образец (образцы) отбирают в торговых организациях, реализующих данный товар, и подвергают испытаниям в аккредитованной лаборатории.

Схема 2а включает дополнение к схеме 2 – анализ состояния производства до выдачи сертификата.

Схема 3 предусматривает испытания образца, а после выдачи сертификата – инспекционный контроль путем испытания образца, отбираемого на складе готовой продукции предприятия-изготовителя перед отправкой потребителю. Образец испытывается в аккредитованной лаборатории.

Схема 3а предусматривает испытание типа и анализ состояния производства до выдачи сертификата, а также инспекционный контроль в такой же форме, как по схеме 3.

Схема 4 заключается в испытании типового образца, как и в предыдущих схемах, с несколько усложненным инспекционным контролем: образцы для контрольных испытаний отбирают как со склада изготовителя, так и у продавца. Модифицированная схема 4а в дополнение к схеме 4 включает анализ состояния производства до выдачи сертификата соответствия на продукцию.

Схема 5 наиболее сложная. Она состоит из испытаний типового образца, проверки производства путем сертификации системы обеспечения качества либо сертификации самого производства, более строгого инспекционного контроля, который проводится в двух формах: как испытание образцов сертифицированной продукции, отобранных у продавца и у изготовителя, и в дополнение к этому как проверка стабильности условий производства и действующей системы управления качеством.

Схема 6 подтверждает еще раз, насколько выгодно предприятию иметь сертификат на систему качества. Эта схема заключается в оценке на предприятии действующей системы качества органом по сертификации, но если сертификат на систему предприятие уже имеет, ему достаточно представить заявление-декларацию. Это обычно установлено в Правилах системы сертификации однородной продукции. Заявление-декларацию регистрируют в органе по сертификации, и оно служит основанием для получения лицензии на использование знака соответствия.

Схема 7 заключается в испытании партии товара. Это значит, что из партии товара, изготовленной предприятием, отбирается по установленным правилам средняя проба (выборка), которая проходит испытания в аккредитованной лаборатории с последующей процедурой выдачи сертификата. Инспекционный контроль не проводится.

Схема 8 предусматривает проведение испытания каждого изделия, изготовленного предприятием, в аккредитованной испытательной лаборатории и далее принятие решения органом по сертификации о выдаче сертификата соответствия.

Кроме этих уже действующих схем в России введены дополнительные схемы 9 и 10а, опирающиеся на заявление-декларацию изготовителя с последующим инспекционным контролем за сертифицируемой продукцией. Такой принцип схемы сертификации в наибольшей степени подходит для малых

предприятий и товаров, выпускаемых малыми партиями. В отдельных случаях предусматривается как обязательное условие наличие сертифицированной системы качества у изготовителя. Процедура такого пути сертификации должна быть отражена в правилах системы сертификации однородной продукции. Заявление-декларацию подписывает руководитель предприятия, прилагает к нему протокол испытаний продукции на предприятии, информацию о действии надлежащего контроля при производстве. Все документы рассматривает орган по сертификации однородной продукции, который принимает решение о возможности признания заявления-декларации и выдаче сертификата соответствия.

Российские правила определяют ситуации, которым соответствует выбор конкретной схемы сертификации.

Схема 1 предназначена для ограниченного объема выпуска отечественной продукции и поставляемой по краткосрочному контракту, импортируемой.

Схема 2 рекомендуется для импортируемой продукции, поставляемой регулярно в течение длительного времени. В этом случае инспекционный контроль проводится по образцам, отобранным из поставленных в РФ партий.

Схема 3 подходит для продукции, стабильность качества которой соблюдается в течение большого периода времени, предшествующего сертификации.

Схему 4 используют в случаях, когда нецелесообразно не проводить инспекционный контроль.

Схемы 5, 6 нужно выбирать, когда предъявляются жесткие, повышенные требования к стабильности характеристик выпускаемых товаров, предприятие занимается дифференциацией выпускаемых изделий, у потребителя осуществляется монтаж (сборка) изделия, когда малый срок годности продукта, а реальный объем пробы (выборки) недостаточен для достоверных результатов испытаний.

Схема 6 оправдана также при наличии у изготовителя системы испытаний, позволяющей проверить соответствие всех характеристик изделия, предусмотренных Правилами системы сертификации однородной продукции. Для импортируемой продукции эта схема может оказаться целесообразной при наличии у поставщика сертифицированной системы обеспечения качества, а сертификат может быть признан в соответствии с российскими правилами.

В ситуациях разовых поставок партии или единичного изделия рекомендуются схемы 7, 8.

Схемы 9, 10а подходят для сертификации в сфере мелкого предпринимательства, малых предприятий, индивидуальных предпринимателей. Обязательное условие их применения – наличие у заявителя всех требуемых документов, подтверждающих соответствие объекта сертификации заявленным требованиям. При невыполнении этого условия орган по сертификации предлагает заявителю провести сертификацию товара по другой схеме.

Схему 9 рекомендуют использовать при сертификации единичной партии небольшого объема импортируемой продукции, выпускаемой фирмой, зарекомендовавшей себя на мировом или российском рынках как производителя продукции высокого уровня качества, а также при сертификации единичного изделия (комплекта изделий) целевого назначения, приобретаемого для оснащения отечественных производственных (или иных) объектов. Применение схемы возможно при условии, что в технической документации имеется информация, дающая представление о безопасности этого товара.

Схема 9а предназначена для продукции, выпускаемой нерегулярно, при колеблющемся характере спроса, когда нецелесообразен инспекционный контроль. Это могут быть товары отечественных производителей, в том числе индивидуальных предпринимателей, зарегистрировавших свою деятельность в индивидуальном порядке.

Схемы 10 и 10а применяют для сертификации продукции, производимой небольшими партиями, но в течение продолжительного периода времени.

Схемы 1а, 2а, 3а, 4а, 9а и 10а рекомендуется выбирать в таких ситуациях, когда у органа по сертификации отсутствуют данные о стабильности характеристик выпускаемой продукции, подтвержденные испытаниями. Правила по применению этих схем сертификации оговаривают обязательное условие: в сертификации должны участвовать эксперты, имеющие право заниматься вопросами анализа производства. Это условие не действует, если у изготовителя имеется сертификат соответствия на систему обеспечения качества, потому что при этом не проводится анализ состояния производства. Таким образом, дополнительные схемы 9, 10а учитывают международный опыт по подтверждению соответствия, а именно представление изготовителем заявления-декларации.

В схемах сертификации могут быть использованы документальные доказательства соответствия, полученные заявителем другим путем, помимо данной сертификации, что воспринимается как способ сокращения объема проверок. Дополнительными документами, в зависимости от вида конкретной

продукции, могут быть: протоколы приемочных, периодических или других испытаний, гигиенический сертификат, заключение о санитарно-гигиеническом состоянии производства, сертификат пожарной безопасности, сертификаты или декларации субпоставщиков, ветеринарный сертификат, сертификат происхождения, протоколы испытаний в зарубежных лабораториях и др.

При обязательной сертификации решение о предоставлении изготовителем тех или иных документов принимает орган по сертификации.

Знаки соответствия

На основании Закона РФ «О защите прав потребителей», Постановления Правительства РФ «О маркировании товаров и продукции на территории Российской Федерации знаками соответствия, защищенными от подделок» и внесенных изменений в это Постановление 1 на территории РФ введены знаки соответствия для маркировки товаров, подлежащих обязательной сертификации. Положения этих документов относятся как к производимой в России, так и импортируемой продукции.

Ответственность за соблюдение правил маркировки возложена на предприятия-изготовители, организации-импортеры, торговые организации, а также на индивидуальных предпринимателей. Все вопросы организационно-методического характера, относящиеся к знакам соответствия, находятся в ведении Госстандарта и Министерства по антимонопольной политике и поддержке предпринимательства РФ.

До 1998 г. действовал один знак соответствия системы обязательной сертификации ГОСТ Р.

Согласно российскому законодательству каждая система сертификации имеет право на свой знак соответствия. Системы обязательной сертификации однородной продукции, входящие в структуру ГОСТ Р, имеют право применять указанный выше знак, но им не запрещено вводить и собственные знаки.

На сегодняшний день в Государственном реестре Госстандарта РФ зарегистрированы собственные знаки соответствия некоторых российских систем обязательной сертификации.

Если система сертификации однородной продукции составляет основную часть системы ГОСТ Р, она также имеет право применять соответствующий знак. На добровольную сертификацию этот знак соответствия не распространяется.

Чтобы получить право маркировки сертифицированной продукции знаком соответствия, изготовитель вместе с сертификатом соответствия в органе по сертификации получает лицензию, а если сертифицируется единичное изделие – маркировку производит сам орган по сертификации.

С 1 января 1999 г. запрещена реализация на российском рынке ряда товаров, не маркированных знаками соответствия. Перечень их включает такие группы, как электрическое оборудование, каучук и резина, кофе, чай, пряности, полимерные материалы, музыкальные инструменты, мебель, спортивный инвентарь и др.

Министерство торговли РФ наделено правом держателя информационной системы, обеспечивающей оперативный учет движения товаров, маркированных знаками соответствия.

Требования к степени защищенности знаков министерство устанавливает совместно с Госстандартом РФ.

В области добровольной сертификации указанные выше законодательные положения предоставляют право организациям добровольно маркировать продукцию знаками соответствия, если она не подлежит обязательной сертификации.

Контроль за реализацией товаров, подлежащих обязательному маркированию знаками соответствия, осуществляют: Министерство торговли РФ, Министерство внутренних дел РФ, Министерство РФ по налогам и сборам.

Знаки соответствия несут в себе полезную информацию, которая убеждает потребителя в надлежащем качестве товара, в его безопасности; может использоваться изготовителем в рекламных целях; помогает органам госнадзора принять решение о возможности реализации продукции, для страховых компаний является одной из гарантий безопасности товара.

С развитием собственных систем сертификации в странах СНГ появились национальные знаки соответствия, которые могут быть признаны в РФ при наличии соглашений о взаимном признании.

Системы обязательной сертификации

Обязательная сертификация в России, как и в зарубежных странах, распространяется прежде всего на потребительские товары и подтверждает их безопасность и экологичность. Как уже отмечено выше, продукция, подлежащая обязательной сертификации, включается в официальный перечень, который является важным документом для всех заинтересованных в сертификации, поскольку:

потребители рассматривают перечень как источник информации о гарантии своих прав на приобретение безопасных товаров, на выбор их среди аналогов, находящихся в продаже;

торговые организации получают возможность обоснованного выбора при размещении заказов;

изготовители, ориентируясь на перечень, могут своевременно подготовиться к проведению сертификации на своем предприятии;

таможенные органы получают сведения об объектах обязательного контроля при ввозе товаров на территорию РФ;

сертификационные органы вместе с номенклатурой товаров получают возможность своевременного обеспечения своего фонда нормативных документов необходимыми стандартами;

контролирующие органы могут подготовиться к инспекционному контролю сертифицированной продукции, составить планы и графики работ;

технические комитеты по стандартизации, благодаря этой информации, определяют объекты для стандартизации методов испытаний и установления обязательных для сертификации требований на конкретные виды продукции.

На основании Закона РФ «О защите прав потребителей» Госстандарт РФ как национальный орган по сертификации потребительских товаров установил номенклатуру товаров, которые подлежат обязательной сертификации, и включил в нее более 70 видов продукции и некоторые виды услуг. Среди них: сельскохозяйственная и пищевая продукция; товары бытовой химии; изделия текстильной и легкой промышленности; электробытовые приборы и радиоэлектронная аппаратура; медицинская техника и приборы; автотранспортные средства; спортивное и охотничье оружие; бытовые нагревательные устройства; бытовая техника.

В качестве критериев для включения товара в этот перечень были выбраны: потенциальная опасность для пользователя; наличие требований безопасности в нормативном документе на товар; массовость потребления; степень угрозы жизни и здоровью человека и др. Перечень ежегодно обновляется и дополняется по мере принятия новых законодательных актов в области охраны здоровья и защиты интересов потребителей.

Перечень распространяется и на импортируемую продукцию, о чем проинформированы по соответствующим каналам официальные органы зарубежных стран.

С 1998 г. в России действует несколько десятков систем обязательной сертификации, часть из них (системы сертификации однородной продукции)

входит в состав системы ГОСТ Р, а 15 систем обязательной сертификации образованы разными федеральными органами исполнительной власти.

Создавшиеся масштабы работ по обязательной сертификации, участие в ней различных органов федерального уровня требуют четкой координации. Координирующей функцией на основе Закона РФ «О защите прав потребителей» наделен Госстандарт РФ.

В его обязанности входит:

формирование единой государственной политики в области сертификации;
обеспечение взаимодействия в практике сертификации федеральных органов исполнительной власти;

приведение в соответствие требований к объектам сертификации, проходящим сертификацию в различных системах;

унификация методов и процедур контроля за сертифицированной продукцией;

согласование номенклатуры объектов обязательной сертификации.

Наиболее крупной системой обязательной сертификации является ГОСТ Р. Это первая система обязательной сертификации, созданная во исполнение Закона РФ «О защите прав потребителей», организованная и возглавляемая Госстандартом РФ. В ее составе действуют более 40 систем сертификации однородной продукции, около 900 органов по сертификации и более 2000 испытательных лабораторий, которые аккредитованы в установленном порядке. Система ГОСТ Р выполняет задачи по сертификации импортируемой продукции. Для этого в ней аккредитованы зарубежные органы по сертификации: ДИН-ГОСТ-ТЮФ (Германия), Сосьете Женераль (Швейцария), Мертконтроль (Венгрия), ГОСТ-Азия (для стран Юго-Восточной Азии).

В системе ГОСТ Р может проводиться и добровольная сертификация.

На базе правил и принципов системы ГОСТ Р сформирована действующая инфраструктура сертификации в России, а также в странах СНГ.

Госстандарт ведет Государственный реестр, который содержит основную информацию по сертификации: о выданных сертификатах; аккредитованных органах и испытательных лабораториях; утвержденных системах сертификации; аттестованных экспертах-аудиторах и др. Официальный язык системы ГОСТ Р русский, но по согласованию сторон допускается оформление документации и на другом языке.

Органы по сертификации и испытательные лаборатории, аккредитованные в системе, в силу неравномерности географии их расположения не могут

обеспечить полностью потребности в сертификации некоторых экономических регионов страны.

Существуют также кадровые проблемы, которые касаются не только нехватки кадров, но и не всегда надлежащего уровня их компетентности, что приводит к ошибкам практического характера.

Наблюдается дублирование деятельности Госстандарта по надзору за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и сертифицированной продукцией.

Во многом проблемы связаны с тем, что формирование сертификации совпало с начальным этапом становления рыночной экономики, что оставляет надежду на совершенствование сертификации по мере становления российского рынка товаров и услуг.

Системы добровольной сертификации

В России действуют более 80 систем добровольной сертификации, охватывающих в основном рынок потребительских товаров и услуг.

Системы добровольной сертификации имеют некоторые характерные черты:

активная роль заявителя, который определяет подтверждаемые требования к объекту сертификации, методы их проверки, стандарты или другие нормативные документы, устанавливающие требования, выбирает схему сертификации;

самоорганизация системы, т. е. инициирование ее создания и регистрации любыми субъектами хозяйственной деятельности;

открытость, возможность для заинтересованных сторон ознакомиться с составом участников системы, правилами и процедурами сертификации;

самостоятельность, невмешательство федеральных и местных органов исполнительной власти, иных государственных и общественных структур в деятельность системы (если они не являются ее организаторами).

Право на проведение сертификации вновь создаваемая система добровольной сертификации получает после регистрации в соответствии с ГОСТ Р 40.101–95 «Государственная регистрация систем добровольной сертификации и их знаков соответствия». Срок действия сертификата соответствия по правилам добровольной сертификации устанавливает орган по добровольной сертификации с учетом срока действия нормативного документа, на соответствие которому проведена сертификация.

Знаки соответствия в системах добровольной сертификации подтверждают соответствие товара (услуги):

всем требованиям нормативного документа;

отдельным требованиям нормативного документа.

В последнем случае к знаку соответствия должна добавляться ограничительная оговорка (маркировка).

Еще одна особенность систем добровольной сертификации – это признание сертификатов соответствия. Основным критерием признания является авторитет органа, выдавшего сертификат. Однако в конечном счете решение о признании принимает непосредственно заинтересованная в сотрудничестве с держателем сертификата сторона.

Более трудной проблемой считается признание российских систем добровольной сертификации за рубежом. В связи с этим системы добровольной сертификации при их организации должны соответствовать международным правилам и нормам. Информация о них должна быть доступной для заинтересованных сторон.

Несмотря на то что в российском законодательстве нет строгих ограничений по отношению к добровольной сертификации, а это предоставляет системам право работы по своим правилам, добровольная сертификация в России основана на соблюдении рекомендуемых международных принципов, своеобразного кодекса добровольной сертификации. К основным относят следующие принципы:

1) в системе добровольной сертификации должны быть определены правила и процедуры, о которых информируют заявителя;

2) объекты сертификации и их характеристики, которые может подтвердить данная система, должны четко оговариваться с указанием конкретных нормативных документов. Нормативные документы, предлагаемые заявителем, принимаются при условии их пригодности для целей сертификации;

3) процедуры сертификации надлежит должным образом документировать, что особенно важно для случаев апелляций;

4) любая система добровольной сертификации вправе устанавливать свою форму сертификата и свой знак соответствия. Сертификат должен содержать все общепринятые реквизиты, а знак – обладать патентной чистотой;

5) вопрос о передаче полномочий органа по сертификации другим участникам системы (например, испытательной лаборатории) должен быть отражен в правилах системы.

Одной из первых, наиболее известной и авторитетной, можно считать введенную в действие в 1993 г. систему добровольной сертификации СовАсК. Объектами сертификации в ней являются многие виды продукции, услуги, процессы, системы обеспечения качества, системы производства. Кроме того, СовАсК имеет право на проведение аккредитации испытательных лабораторий, а также аудиторов по оценке систем качества и аттестации производств.

В основу создания системы были положены разработки ИСО, руководства ИСО/МЭК, европейские стандарты EN 45000, в силу чего система СовАсК приведена в соответствие не только с системой обязательной сертификации ГОСТ Р, но и с международными правилами и нормами.

СовАсК по-особому подходит к аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий, считая целесообразным проводить одновременную аккредитацию и в системе ГОСТ Р. Это придает большую весомость как самой аккредитации, так и результатам испытаний, обеспечивает их сопоставимость, а также усиливает признаваемость сертификата и знака соответствия (рис. 5.1).

Другое направление содействия развитию экспорта – помощь экспортерам в подготовке продукции к сертификации за рубежом. Уже отработана определенная процедура. Вся основная работа, необходимая по процедуре сертификации, кроме заключительного этапа, осуществляется силами СовАсК, а на конечный этап приглашается представитель соответствующей зарубежной сертификационной фирмы, которая и выдает сертификат, пока более признаваемый иностранными покупателями, чем сертификаты СовАсК.

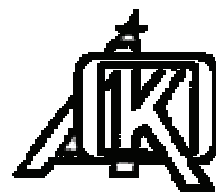


Рис. 5.1. Знак соответствия системы добровольной сертификации СовАсК

В системе СовАсК может осуществляться и обязательная сертификация, но для этого требуется получить полномочия от Госстандарта РФ.

В настоящее время осуществляется дальнейшее совершенствование Системы СовАсК для ее более полной гармонизации с международной практикой. В частности, намечается разделить функции аккредитации и сертификации, переработать часть документации в соответствии с Рекомендациями ИСО/МЭК.

Интерес к добровольной сертификации связан с ее широкими возможностями по подтверждению соответствия тем требованиям, которые интересуют потребителя и заявлены заказчиком сертификации. В России добро-

вольная сертификация не только удовлетворяет потребности внутреннего рынка, но используется также для экспортируемой или перспективной для экспорта продукции. В таких случаях добровольная сертификация в рамках контракта купли-продажи приобретает обязательный характер.

Практика сертификации на национальном уровне. Основные правила

Законом «О защите прав потребителей» введена обязательная сертификация не только отечественной, но и импортируемой продукции на безопасность и экологичность. Сертификация импортируемой продукции проводится в системе ГОСТ Р.

Законом установлено, что основанием для разрешения ввоза товара на территорию России служит сертификат соответствия, представляемый вместе с грузовой таможенной декларацией в таможенные органы. Сертификат должен быть выдан российским органом по сертификации, который также может признать и зарубежный сертификат. При отсутствии оригинала сертификата допускается копия, заверенная нотариусом, или выдавшим сертификат органом, или консульством России.

Основные принципы сертификации импортируемой продукции увязаны с международной практикой, правилами и рекомендациями, разработанными международными организациями, занимающимися вопросами торговли, стандартизации, сертификации, что обеспечивается единством правил и процедур для отечественных и импортных товаров в системе сертификации ГОСТ Р. Гармонизованная система сертификации – необходимое условие для заключения двусторонних и многосторонних соглашений Госстандарта РФ с соответствующими органами зарубежных стран по взаимному признанию сертификатов и результатов испытаний, а также для более эффективной работы России в международных системах сертификации и аккредитации зарубежных сертификационных центров на ее территории. Все эти положения важны не только для признания зарубежных сертификатов и результатов испытаний в России, но и для сертификации экспортируемой продукции, а также для выполнения обязательных условий ГАТТ/ВТО в рамках соглашения о технических барьерах в торговле.

Обязательной сертификации подлежит импортируемая продукция, включенная в Номенклатуру продукции и услуг, подлежащих обязательной сертификации в РФ. К ней относятся товары машиностроительного комплек-

са, электротехнической, электронной и приборостроительной промышленности, сельскохозяйственного производства и пищевой промышленности, легкой промышленности, сырье и продукты деревообрабатывающего производства, медицинская техника, средства индивидуальной защиты органов дыхания, тара, пиротехнические изделия, ветеринарные биологические препараты. Перечень формируется с учетом товарной номенклатуры внешнеэкономической деятельности.

При наличии двусторонних соглашений о взаимном признании сертификатов соответствия и протоколов испытаний с зарубежными органами по сертификации товар, сопровождаемый сертификатом, выданным такими органами, допускается к ввозу в Россию.

Практика показала, что один из недостатков процесса сертификации импортируемой продукции состоит в том, что иностранные поставщики далеко не всегда располагают нужной информацией о правилах сертификации и таможенных правилах в России. Нередко партии товаров либо вообще не имеют сертификата соответствия, либо сопровождаются сертификатом, выданным зарубежным органом, не признанным в системе сертификации ГОСТ Р. В подобных случаях по российским правилам иностранный поставщик имеет право обратиться в один из органов по сертификации и осуществить испытания образца товара в назначенной им лаборатории либо пройти процедуру признания зарубежного сертификата. В первом случае заявитель с разрешения таможенного органа и при его контроле отбирает пробу (образец), что должно быть официально оформлено актом, а затем орган по сертификации, с которым заявитель заключает договор, проводит сертификацию отобранного образца (пробы) по правилам, принятым в системе ГОСТ Р.

Порядок ввоза товаров, подлежащих обязательной сертификации

В соответствии с законами «О защите прав потребителей», «О сертификации продукции и услуг» и Порядком сертификации в системе ГОСТ Р принят Порядок ввоза на территорию России товаров, подлежащих обязательной сертификации, который введен в действие приказом Государственного таможенного комитета № 217 от 1994 г. Порядок определяет следующие условия выпуска на таможенную территорию РФ товаров, которые в соответствии с законодательством России подлежат сертификации: 1) они должны соответствовать установленным требованиям обязательной сертификации; 2) документами, подтверждающими соответствие, считаются сертификаты, оформ-

ленные на русском языке (если они выданы в системе ГОСТ Р); 3) в условиях контракта на поставку товара в Россию должно быть предусмотрено требование о наличии сертификата и знака соответствия, которые должен выдать или признать уполномоченный на то орган Российской Федерации.

Эти условия сопряжены со следующими таможенными режимами:

выпуск для свободного обращения;

реимпорт;

переработка под таможенным контролем (в случае выпуска продуктов переработки в свободное обращение);

переработка вне таможенной территории (в части, касающейся ввоза продуктов переработки).

Не требуется представление сертификатов на товары, предназначенные для официального пользования представительств зарубежных стран, международных межправительственных организаций и их персонала, а также ввозимые физическими лицами и не предназначенные для производственной или коммерческой деятельности, если они не превышают установленные стоимостные и количественные квоты. Если физическое лицо ввозит товар в единичном количестве для собственного потребления, то он условно может быть выпущен без сертификата при помещении в один из указанных выше таможенных режимов. В случае отчуждения таких товаров они должны быть сертифицированы. При прохождении таможенного контроля сертификат соответствия необходимо предъявить вместе с таможенной декларацией.

Должностные лица таможенных органов, а в отдельных случаях с привлечением представителей территориальных органов Госстандарта либо органа по сертификации, подвергают проверке: подлинность сертификата или его копии; полномочия органа, выдавшего сертификат; соответствие сертификату ввозимого товара и срок действия сертификата.

В конце 1996 г. было принято Постановление Правительства РФ «Об утверждении правил, обеспечивающих на продуктах питания, ввозимых в Российскую Федерацию, информацию на русском языке». Постановление, в частности, обязует Госстандарт РФ наряду с министерствами, указанными в этом документе, «внести необходимые изменения в соответствующие нормативные акты, регулирующие оптовую и розничную продажу продуктов питания». Правила содержат указания, адресованные организациям любой формы собственности и индивидуальным предпринимателям и запрещающие закупку пищевых товаров за рубежом, если они не сопровождаются

информацией на русском языке об изготовителе, составе и пищевых добавках, условиях хранения, сроке годности, способе приготовления, условиях применения и противопоказаниях. В Постановлении нет прямого указания, как эти требования соотносятся с таможенными правилами и правилами сертификации импортируемой продукции. Вероятнее всего, что принятое Постановление отразится на порядке сертификации импортируемых продовольственных товаров.

Сертификация на международном и региональном уровнях

Международная система сертификации электротехнических изделий МЭК (МЭКСЭ)

Идея создания международной системы сертификации электротехнических изделий возникла еще в 1926 г. Представители Германии, Швеции, Норвегии и Голландии организовали первое международное совещание по созданию международной организации, которая должна разрабатывать требования к безопасности изделий электротехнических производств и правила их приемки.

В 1985 г. была сформирована современная международная система по испытаниям электрооборудования на соответствие стандартам безопасности МЭК (МЭКСЭ), объединяющая 34 страны.

Цель системы – содействие международной торговле электрооборудованием, эксплуатация которого осуществляется обычными потребителями, а не специалистами в области электротехники. К такого рода продукции относятся многочисленные виды электронных и электротехнических изделий: бытовое электрооборудование, сетевая электронная аппаратура, светотехнические товары, медицинская электроаппаратура, электронно-вычислительная техника, электрооборудование офисов и предприятий и многое другое. Сертификация таких изделий на безопасность почти во всех странах мира предусмотрена законодательными положениями по защите прав потребителей.

Основным способом устранения технических барьеров в торговле электрооборудованием, равно как и другими товарами, является взаимное признание результатов испытаний и сертификации, осуществляемых в странах-участницах. Главное условие взаимного признания состоит в гармонизации стандартов и методов испытаний. На содействие этому направлена Схема СБ (СВ Sheme) в системе сертификации МЭКСЭ. Это процедура системы МЭКСЭ по признанию результатов испытаний электрооборудования на соответствие стандартам безопасности, проведенных в национальных системах

сертификации. Главное условие взаимного признания состоит в гармонизации стандартов и методов испытаний. Страны-участницы Схемы СБ обязаны проводить сертификацию на соответствие стандартам МЭК по безопасности, которые им рекомендуется применять в качестве национальных. Членом Схемы СБ может быть только представитель страны, участвующей в системе сертификации МЭКСЭ. Страны-участницы Схемы СБ обязаны проводить сертификацию на соответствие стандартам МЭК по безопасности, которые им рекомендуется применять в качестве национальных. Членом Схемы СБ может быть только представитель страны, участвующей в системе сертификации МЭКСЭ.

Главный критерий признания национального органа по сертификации в Схеме СБ достаточно строгий – это проведение сертификации на соответствие стандартам МЭК не менее чем по десяти заявкам в течение двух лет, предшествующих проверке. Таким образом оценивается такой параметр, как опыт. Схема СБ непрерывно совершенствуется. В частности, упрощается процедура признания и инспекционного контроля.

Для получения сертификата СБ существуют две альтернативные процедуры.

Согласно первой процедуре сертификат СБ выдает национальный орган по сертификации после соответствующих испытаний и при подтверждении национальным органом другой страны. Национальный орган подтверждает, что объект сертификации соответствует аналогичным требованиям, проверяемым в ходе испытаний испытательной лабораторией этой страны, сотрудничающей с данным сертификационным органом.

Согласно второй процедуре сертификат СБ выдает национальный орган по сертификации после того, как объект сертификации выдержал испытания в лаборатории, сотрудничающей с данным органом.

К дополнительному условию получения сертификата можно отнести обязательное наличие в заявке торговой марки изготовителя или фирменного знака, что необходимо для идентификации изготовителя национальным органом по сертификации.

Испытательная лаборатория может быть аккредитована в Схеме СБ, если в стране ее пребывания имеется национальный орган по сертификации, участвующий в Схеме СБ по соответствующей номенклатуре изделий, а ее техническая компетентность соответствует требованиям Схемы СБ.

В Схеме СБ аккредитовано 34 национальных органа по сертификации и более 70 испытательных лабораторий, которые по желанию заявителя из лю-

бой страны-участницы МЭКСЭ могут осуществить испытания электрооборудования и выдать сертификат СБ, подтверждающий соответствие изделия требованиям стандарта МЭК по безопасности.

Однако не все страны-участницы МЭКСЭ признают протоколы испытаний на соответствие национальным отличиям от стандартов МЭК. Не признают протоколы Великобритания, Япония, Южная Корея, Израиль.

Россия является членом МЭКСЭ и Схемы СБ с 1992 г. В рамках системы сертификации ГОСТ Р действует национальная система сертификации электрооборудования на соответствие стандартам безопасности (ССЭСБ).

Центральный орган ССЭСБ – Главное управление стандартизации и сертификации информационных технологий, продукции электротехники и приборостроения Госстандарта РФ. Первый аккредитованный МЭКСЭ сертификационный орган – Ростест-Москва. На сегодняшний день в стране действует несколько десятков аккредитованных испытательных лабораторий, расположенных в различных регионах. Перечень электротехнических товаров, подлежащих обязательной сертификации, утвержденный Госстандартом, включает продукцию не только российских предприятий-изготовителей, но и импортируемую, в том числе и из стран СНГ. Всего в перечне 25 категорий изделий, охватывающих все категории Схемы СБ. Нормативной базой системы служат в основном международные стандарты МЭК, принятые «методом обложки». Кроме того, проводится большая работа по созданию государственных стандартов безопасности на отдельные виды электрооборудования, так как в нормативных документах, по которым они производятся, нормы безопасности не предусмотрены.

Актуальной проблемой сертификации в данной области остается признание российских сертификатов странами-участницами МЭКСЭ. Для этого необходимо как можно большему числу отечественных лабораторий получить аккредитацию в системе МЭКСЭ.

Не решена задача географического распределения испытательных лабораторий, из которых примерно половина сосредоточена в Москве и Московской области, в других регионах – лишь единицы.

Сертификация в СНГ

Основным документом, определяющим направления деятельности по сертификации в СНГ, служит Соглашение о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации, подписанное

в 1992 г. На основании положений Соглашения, касающихся сертификации, страны содружества – участницы Соглашения, обладая полной самостоятельностью в формировании и реализации систем сертификации и организации работ в этой области, создают национальные системы сертификации с учетом руководств ИСО/МЭК и накопленного опыта в данной области.

Поскольку российская система ГОСТ Р в большей степени гармонизована с международными правилами, страны СНГ взяли за основу составления методических документов по сертификации российские правила и другие разработки.

Подписавшие Соглашение государства договорились о взаимном признании органов по сертификации, испытательных лабораторий, результатов испытаний и сертификации, сертификатов и знаков соответствия на взаимопоставляемую продукцию. Приняты также условия аккредитации для последующего взаимного признания: аккредитация органов и лабораторий в национальной системе сертификации и наличие у испытательных лабораторий практического опыта по проведению испытаний на основе межгосударственных стандартов; аккредитация в международных системах сертификации, к которым присоединилось государство СНГ, решающее вопрос о признании.

Стороны участвуют в международных системах сертификации самостоятельно, причем Соглашение не затрагивает прав и обязательств сторон, вытекающих из правил международных систем сертификации.

Сертификационные испытания могут проводиться в аккредитованной лаборатории любой страны.

Нормативной базой сертификации признаны международные, межгосударственные или национальные стандарты, признанные в государствах-участниках Соглашения.

Страны, подписавшие Соглашение, договорились согласовывать порядок поэтапного введения обязательной сертификации взаимопоставляемой продукции, обеспечивать объективность результатов испытаний и достоверность результатов сертификации продукции.

Дальнейшее развитие согласованной политики по сертификации отражено в Соглашении от 1994 г., которое установило условия и процедуры признания в области сертификации.

Поскольку не все страны-члены СНГ в одинаковой степени готовы к заключению многостороннего соглашения о взаимном признании, было принято решение начинать с двусторонних соглашений. Такие соглашения заклю-

чаются на уровне национальных органов по сертификации. Госстандартом РФ двусторонние соглашения подписаны с Беларусью, Молдовой и Украиной, из стран, не участвующих в СНГ, – с Литвой, представители которой присутствовали на заседании Межгосударственного совета в качестве наблюдателей.

Среди решений, принятых Межгосударственным советом, важное значение для всех стран-участниц имеет договоренность о Евро-Азиатской региональной организации по аккредитации по образцу и подобию Европейской организации по аккредитации лабораторий (EAL).

Совершенствованием организации сертификации следует также считать принятие Межгосударственным советом Положения о сертификации средств измерений, которое, в частности, гласит: «Организация, заинтересованная в импорте (экспорте) средств измерений из государства-участника Соглашения, через свой национальный орган представляет в национальный орган страны-экспортера (импортера): сертификат (либо другой документ) об утверждении типа средства измерения с описанием типа для Госреестра и эксплуатационную документацию с методикой поверки».

Приоритетным направлением по сертификации признано обеспечение безопасности взаимопоставляемой продукции. Затруднения в этой области обусловлены неравномерностью развития организации и практики сертификации в странах-членах СНГ. Решение этой проблемы даст возможность создания межгосударственных систем сертификации однородной продукции.

Сертификация систем обеспечения качества

Сертификация систем обеспечения качества на соответствие стандартам ИСО серии 9000 широко развита в зарубежных странах, в то время как в России практически только в последние годы на эту проблему обратили серьезное внимание. Возможно, одна из причин такого отставания связана с упадком отечественного производства и слабой ориентацией действующих предприятий на экспорт своих товаров. Немногие производственные предприятия России осознали важность и необходимость сертификации систем качества: всего лишь несколько сотен российских предприятий имеют сертификат на системы качества, в то время как за рубежом им владеют десятки тысяч фирм.

Зарубежные специалисты считают, что сертификат соответствия на систему обеспечения качества дает фирме немало выгод и преимуществ. Он доказывает надежность партнера по бизнесу, в том числе и в отношениях с бан-

ками, которые охотнее предоставляют кредиты фирмам, чья система качества сертифицирована. Страховые компании отдают предпочтение таким фирмам при страховании от ущерба за некачественную продукцию. Сертификат на систему качества – весомый аргумент в пользу заключения контракта на поставку товара. Западные эксперты отмечают, что на едином европейском рынке в ближайшем будущем до 95 % контрактов будут заключаться только при наличии у фирмы-поставщика сертификата на систему качества. При возникновении судебных исков, связанных с некачественной продукцией, сертификат на систему качества расценивается судом как доказательство невиновности фирмы. Наличие сертификата на систему качества стало обязательным условием участия в различных тендерах. Сертификация системы качества положительно отражается и на внутренних делах предприятия (фирмы): в процессе подготовки к сертификации системы качества приводятся в соответствие с особенностями рыночной экономики; облегчается процедура сертификации продукции.

Сертифицированная система качества характеризует способность предприятия стабильно выпускать продукцию надлежащего качества и вполне может рассматриваться как один из весомых факторов конкурентоспособности фирмы (предприятия) как на внутреннем, так и на внешнем рынке. Для отечественных предприятий, планирующих в будущем экспортировать свою продукцию, сертификация системы качества – важнейшее условие, определяющее возможность заключения контракта и реализации товара цивилизованным путем по достойным ценам.

Развитие рыночных отношений в России, а также ее внешнеэкономические задачи стимулировали Госстандарт РФ принять в 1995 г. программу работ по развитию сертификации систем качества в РФ. В соответствии с этой программой была разработана и принята система сертификации систем качества и производств, которая называется Регистр систем качества. Это система добровольной сертификации, но она составляет часть государственной российской системы ГОСТ Р, которая представляет собой систему обязательной сертификации. Решение о вхождении системы добровольной сертификации в систему ГОСТ Р принято сознательно и мотивировано известностью системы ГОСТ Р в России и зарубежных странах, где ее сертификат и знак соответствия находят признание. Не случайно и знак соответствия Регистра систем качества отличается от знака системы ГОСТ Р лишь подписью «Регистр» над знаком и указанием номера стандарта ИСО под знаком.

Все это направлено на ускорение признаваемости российских сертификатов на системы качества в РФ и за рубежом.

Регистр как система организован в соответствии с действующим законодательством, правилами по сертификации и государственными нормативными документами России, а также европейскими и международными правилами и нормами в области сертификации системы качества. Основные направления деятельности Регистра: сертификация систем качества; сертификация производств; инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производствами; международное сотрудничество в интересах взаимного признания сертификатов на системы качества.

Практическая деятельность по сертификации систем качества в России регламентируется основополагающими государственными стандартами: ГОСТ Р 40.001–95 «Правила по проведению сертификации систем качества в Российской Федерации»; ГОСТ Р 40.002–96 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Основные положения»; ГОСТ Р 40.003–96 «Система сертификации ГОСТ Р. Порядок проведения сертификации систем качества»; ГОСТ Р 40.004–96 «Система сертификации ГОСТ Р. Порядок проведения сертификации производств»; ГОСТ Р 40.005–96 «Система сертификации ГОСТ Р. Регистр систем качества. Инспекционный контроль за сертифицированными системами качества и производствами».

В качестве нормативных документов, на соответствие которым проводится сертификация, в Регистре используются государственные стандарты, представляющие собой принятые «методом обложки» международные стандарты ИСО:

ГОСТ Р ИСО 9001–96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при проектировании, разработке, производстве, монтаже и обслуживании»;

ГОСТ Р ИСО 9002–96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при производстве, монтаже и обслуживании»;

ГОСТ Р ИСО 9003–96 «Системы качества. Модель обеспечения качества при контроле и испытаниях готовой продукции».

Совокупность основополагающих стандартов, приведенных выше и вышедших в 2001 году, определяет основные принципы, организационную структуру Регистра; процедуры сертификации систем качества и порядок инспекционного контроля.

Основными принципами сертификации систем качества должны быть: добровольность, свободный доступ к системе, объективность и воспроизво-

димось результатов, конфиденциальность, информативность, четкая определенность области аккредитации органов по сертификации, проверка выполнения обязательных требований к продукции (услуге) в сфере законодательного регулирования, достоверность документированных доказательств заявителя о соответствии действующей системы качества установленным требованиям.

Органы по сертификации систем качества и производств проводят сертификацию, оформляют ее результаты и осуществляют инспекционный контроль, ведут методическую работу, взаимодействуют со всеми структурными подразделениями Регистра.

Организации с сертифицированными системами качества обеспечивают стабильность функционирования качества (производства) и представляют необходимую информацию по требованию органа по сертификации или Технического центра Регистра, принимают корректирующие меры по результатам инспекционного контроля, информируют орган по сертификации о введенных изменениях в производственный процесс и т. д.

Процедуры сертификации систем качества и производств, установленные ГОСТ Р 40.003–96, ГОСТ Р 40.004–96 и ГОСТ Р 40.005–96, определяют порядок: взаимодействия органов по сертификации и заявителей в период, предшествующий сертификации; проведения проверок; принятия решений о сертификации систем качества; оформления сертификатов соответствия; инспекционного контроля за сертифицированными системами качества; взаимодействия органов по сертификации с Техническим центром Регистра.

Российская система сертификации систем качества все же отличается от международной практики, поскольку включает и сертификацию производств. Это объясняется условиями, в которых сейчас оказалось подавляющее большинство отечественных предприятий: у них отсутствует система качества, но они знакомы с процедурой оценки производства, так как в свое время в стране проводилась аттестация производственных процессов. Поскольку сертификация систем качества сложнее, чем производств, то предприятия предпочитают сначала заняться сертификацией производств и рассматривают ее как первую ступень на пути к сертификации системы качества.

Область аккредитации устанавливают не по видам продукции (как это делается сейчас), а по направлениям, включенным в российский Классификатор видов экономической деятельности по производству продукции и услуг. Этот документ определяет 39 направлений и соответствует зарубежным классификаторам.

Процесс сертификации систем качества проходит в три этапа:

- 1) заочная оценка системы качества;
- 2) окончательная проверка и оценка системы качества;
- 3) инспекционный контроль за сертифицированной системой качества в течение срока действия сертификата.

Заочная оценка системы качества – это предварительная оценка, которая нужна для того, чтобы эксперт мог выявить потенциальную возможность сертификации и целесообразность проведения дальнейших работ на данном предприятии. Если анализ этих материалов имеет положительные результаты, орган по сертификации заключает договор с заявителем о проведении окончательной проверки состояния и видов деятельности предприятия по управлению качеством; состояния производственной системы; качества выпускаемой продукции. Деятельность по управлению качеством проверяется на соответствие реально существующих на предприятии элементов обеспечения качества требованиям заявленного международного стандарта ИСО серии 9000 либо адекватного ему государственного российского стандарта.

В результате проверки могут быть сделаны следующие выводы:

- система полностью соответствует установленным требованиям;
- система в целом соответствует требованиям, но обнаружены отдельные отклонения от стандарта;
- система не соответствует установленным требованиям.

В первом случае орган по сертификации выдает предприятию сертификат на систему качества после его регистрации в Государственном реестре. Во втором случае предприятию назначается срок для устранения обнаруженных несоответствий, после чего по его заявке сертификация продолжается, но по упрощенной схеме. При положительных результатах предприятие получает сертификат. Если результат проверки отрицательный, предприятие имеет право на повторную сертификацию.

Инспекционный контроль за сертифицированной системой качества проводится в двух формах: плановый (не реже одного раза в год) и внеплановый. Основания для внепланового контроля – поступление в орган по сертификации сведений о претензиях к качеству продукции предприятия, введение существенных изменений в технологический процесс или в конструкцию (состав) продукции, изменение организационной структуры или кадрового состава предприятия.

Сертификация систем качества на российских предприятиях постепенно развивается, проблема признания отечественных сертификатов также не остается без внимания.

Многие российские предприятия непосредственно обращаются с заявками в признанные во всем мире фирмы по сертификации, такие как Тюф-СЕРТ, Регистр Ллойда.

Хорошие результаты достигнуты и предприятиями, которые воспользовались услугами созданного в 1995 г. совместного российско-германского предприятия RWTUV – «Интерсергафика». Сертификация систем качества этим предприятием дает право на получение сертификата TUV-CERT (Тюф-СЕРТ), который признается практически всеми странами, поскольку отделения этой фирмы действуют в 40 странах.

Сертификацию производства можно считать либо самостоятельной процедурой, либо составной частью сертификации системы обеспечения качества, так же как и схемы сертификации продукции. Обобщенным критерием оценки соответствия производства служит способность стабильно обеспечивать соответствие готовой продукции нормативному документу, устанавливающему требования к ней. Процедура сертификации производства осуществляется по правилам, установленным Госстандартом, которые, в частности, предусматривают составление методики сертификации производства для каждого предприятия. Методика содержит: однозначные требования; обоснованные методы оценки; воспроизводимость результатов; доступность методов проверок.

При сертификации производства оценивают четыре блока объектов:

- 1) готовая продукция (оценка ее качества в сфере реализации и потребления и анализ причин обнаруженных дефектов);
- 2) технологическая система (технологические процессы, состояние погрузочно-разгрузочных работ, хранение, установка);
- 3) техническое обслуживание и ремонт (техническое обслуживание и ремонт оборудования, эксплуатация и ремонт оснастки, поверка контрольно-измерительных приборов);
- 4) система технического контроля и испытаний (входной контроль, операционный контроль, приемочный контроль; типовые, квалификационные и периодические испытания).

Процесс подготовки к сертификации производства, как показывает российская практика, положительно сказывается на деятельности предприятия. Повышается технологическая дисциплина, значительно усиливается связь с потребителями, разрабатываются количественные и качественные критерии стабильности производства, четко выявляются те звенья технологического процесса, которые непосредственно влияют на характеристики продукции, подлежащие обязательной сертификации, и др.

Экологическая сертификация

Цель экологической сертификации – стимулирование производителей к внедрению таких технологических процессов и разработке таких товаров, которые в минимальной степени загрязняют природную среду и дают потребителю гарантию безопасности продукции для его жизни, здоровья, имущества и среды обитания.

Для многих видов продукции экологический сертификат или знак является определяющим фактором их конкурентоспособности [11].

В России на сегодняшний день экологическая сертификация находится в начале развития, хотя в данном направлении сделано уже немало, установлены объекты, относящиеся к этой области. Их делят на три группы:

- 1) продукция, процессы, работы, услуги, экологические требования к которым содержатся в государственных стандартах, т. е. они подлежат обязательной сертификации в соответствии с российскими законами;
- 2) объекты, которые в силу экологической специфики не могут подвергаться сертификации по правилам системы ГОСТ Р;
- 3) окружающая среда со всеми ее составляющими, для которых не разработаны нормативные требования и сертификационные процедуры.

Отсутствие ясности в оценке состояния объектов третьей группы сдерживает развитие сертификации объектов двух первых. Здесь есть определенные проблемы. Оценка качества окружающей среды в РФ проводят различные ведомственные организации, которые представляют непосредственно специализированные природоохранные, контролирующие органы, а также органы местного самоуправления, природопользователей и некоторые подразделения Российской Академии наук.

Данные оценок, представляемые разными сторонами, как правило, практически несопоставимы. Цена ошибок может быть слишком высокой, что говорит в пользу сертификации как объективного и независимого способа оценки соответствия.

Другим важным вопросом экологической сертификации является состав участников, особенно если их роль определять в плане первой, второй и третьей сторон. Закон «О сертификации продукции и услуг» в данном случае может быть применен к тем объектам, которые относятся к продукции. Для других же необходим закон об экологической сертификации, которого пока в России нет. Не решен вопрос и об оплате услуг по сертификации. Высказывается предположение, что основные затраты лягут на плечи природопользователей, которые, вероятнее всего, будут заявителями в большинстве случаев.

Актуальная сфера экологической сертификации – отходы. Сертификация в этой области направлена на устранение опасного влияния отходов на среду обитания и максимальное их использование в качестве вторичного сырья. Для России важно развивать стандартизацию отходов, что напрямую связано с сертификацией.

Значительное продвижение отмечается в решении проблемы сертификации питьевой воды, что также сопряжено и с нормированием требований к этому объекту сертификации. В 1995 г. принят государственный стандарт «Качество воды. Вода питьевая. Контроль качества», разрабатывается система сертификации питьевой воды, материалов, технологических процессов и оборудования, применяемого в хозяйственно-питьевом водоснабжении. Осуществляется сертификация питьевой воды, расфасованной в различные емкости, решается проблема сертификации питьевой воды, поступающей от централизованных систем водоснабжения.

Большое внимание уделяется оценке экологичности новых видов продукции и процессов, для которых прежде всего необходимо установить соответствующие требования в нормативных документах. Например, начата работа по стандартизации экологических требований к новым конструкциям и технологиям.

Приняты государственный стандарт «Системы управления качеством окружающей среды. Руководство по созданию и методам обеспечения», ГОСТ Р, ИСО-14004, а также три стандарта по экологическому аудиту.

В западноевропейских странах экосертификация достаточно широко развита. Она дополняет обычную сертификацию и почти всегда носит обязательный характер.

Принципы экосертификации в ЕС базируются на превентивных мерах: ущерб для окружающей среды надо предотвращать в первую очередь путем ликвидации источников загрязнения. Во вторую очередь – финансовая ответственность лиц, по вине которых нарушается экологическое равновесие. Эффективность сертификации напрямую зависит от критериев безвредности продукции, услуги, процесса или другого объекта экосертификации для окружающей среды. На каждом этапе жизненного цикла продукции для этого необходимо изучение уровня использования природных ресурсов, загрязнения атмосферы, гидросферы и почвы, ущерба для лесов, полей, воды, а также исследование эстетических, осязательных и обонятельных параметров.

ЕС подчеркивает добровольность европейской экосертификации и ее открытый характер для всех стран, что также не исключает и развития нацио-

нальной экосертификации. В 1993 г. была принята Директива ЕС, определяющая преимущества экосертифицированной продукции, поставляемой на единый рынок по более высокой цене.

Установление видов товаров, которые подлежат экосертификации и маркировке экознаком ЕС, критериев их оценки возложено на уполномоченные государственные органы стран-членов ЕС с участием представителей промышленности, потребительских обществ, независимых ученых, экологических организаций, которые объединяются на региональном уровне в специальный консультативный форум. Практическая работа по присвоению европейского экологического знака проводится на национальном уровне, на котором осуществляются экологические испытания на соответствие утвержденным критериям и выносятся заключения о присвоении экознака.

В ЕС принята экомаркировка специальным знаком.

Цели введения знака – достоверное информирование потребителей об экологичности приобретаемого продукта и стимулирование изготовителей к соблюдению норм и требований по охране окружающей среды.

Экознак не распространяется на пищевые продукты, напитки и лекарственные препараты. Им маркируют товары, которые содержат вещества и препараты, отнесенные директивами к опасным, но в допустимых пределах. Цвет знака может быть зеленым, голубым, черным на белом фоне (и наоборот). Экознак активно используется в рекламе и способствует продвижению товара на рынок, положительно влияя на конкурентные позиции продавца (изготовителя).

Вопросами экологической маркировки и этикетирования занимается Международная организация по стандартизации (подкомитет ПКЗ ИСО/ТК207 «Этикетирование (маркировка) в области окружающей среды»).

Принятие международных стандартов ИСО серии 14000, которые включают руководства по управлению окружающей средой и экологическому аудиту, создало основу для организации и проведения экосертификации.

Сертификация услуг

Сфера услуг представляется наиболее сложным предметом переговоров в процессе вступления России в ВТО. Присоединение к Генеральному соглашению по торговле услугами (ГАТС) затрагивает не только вопросы техниче-



Рис. 5.2. Знак экомаркировки ЕС

ских барьеров, но и правила перемещения физических лиц, инвестиций и иные проблемы внутреннего регулирования в этой области.

Обязательная сертификация потенциально опасных для жизни, здоровья и имущества потребителя услуг введена в России на основании законов РФ:

- О сертификации продукции и услуг;
- О безопасности дорожного движения;
- Об основах туристической деятельности в Российской Федерации;
- О защите прав потребителей.

Объектами сертификации в сфере услуг могут быть: услуга; организация, предоставляющая услугу; персонал, выполняющий услугу; производственный процесс; система управления качеством в организации, предоставляющей услуги.

Формирование системы сертификации услуг и выбор ее участников проводятся в соответствии с Правилами по проведению сертификации в РФ. Согласно этому документу в состав участников системы сертификации услуг могут входить:

- руководящий орган – Госстандарт РФ;
- центральные органы;
- научно-методический центр – ВНИИС;
- методические центры (отраслевые НИИ);
- аккредитованные органы по сертификации и испытательные лаборатории;
- аккредитованные органы по сертификации систем управления качеством.

Схемы сертификации по российским правилам относятся как к услугам, так и к работам.

В схему сертификации материальных видов услуг обычно включают: аттестацию профессионального мастерства исполнителя услуги и инспекционный контроль (для предпринимателей и малых предприятий); аттестацию процесса предоставления услуги и выборочную проверку результата услуги при периодическом инспекционном контроле; аттестацию процесса предоставления и инспекционный контроль; сертификацию систем качества обслуживания и инспекционный контроль.

Для сертификации нематериальных услуг, как правило, применяют следующие схемы: сертификацию предприятия в целом и последующий инспекционный контроль; сертификацию системы обеспечения качества обслуживания и последующий инспекционный контроль за ее работой.

Отметим некоторые присущие услугам особенности, влияющие на организацию их сертификации:

объектом услуги может быть сам человек, а его имущественное право определяет возможность проведения испытаний. Так, владелец отремонтированного автомобиля, по понятным причинам, в праве отказаться от испытаний его автомобиля в дорожных условиях по всем жестким правилам этой процедуры;

непосредственный контакт исполнителя и потребителя услуги требует оценки мастерства исполнителя с учетом этики общения и сложившихся местных предпочтений. Зачастую это требует применения социологических методов оценки;

эксперт по оценке услуги в ряде случаев должен присутствовать при ее оказании, так как предоставление услуги и ее потребление могут совершаться одновременно (услуги парикмахерской или косметического кабинета). За рубежом допускается в подобных случаях исполнение экспертом роли потребителя;

некоторые характеристики услуг напрямую зависят от особенностей региона, в котором они предлагаются. Так, например, в Москве признано целесообразным ввести в действие региональные системы сертификации услуг в сфере общественного питания и городского транспорта.

Для любой оценки важно определить критерии. Выбор критерия сертификации услуг – важная, но наиболее трудная ступень оценки соответствия услуги. Интересен подход к качеству услуг в Японии. Японские специалисты по вопросам качества предлагают условно классифицировать параметры качества услуг на основе их значимости для потребителей. С этой точки зрения следует различать:

«внутреннее» качество, которое не находится в поле зрения потребителей (например, техническое обслуживание);

«материальное» качество, заметное для потребителя (качество товара, гостиничного обслуживания, ресторанного питания и т. п.);

«нематериальное» качество, видимое потребителем (правдивость рекламы, грамотно оформленная документация, доступные пониманию инструкции по пользованию, информационное этикетирование и т. п.);

«психологическое» качество (гостеприимство, вежливость, внимательность и др.);

время обслуживания.

Подобный подход позволяет более достоверно оценивать соответствие услуги ожиданиям и предпочтениям потребителей и вырабатывать надлежащие критерии для сертификации.

К характеристикам, определяющим требования к услугам, в общем плане относят: время ожидания, соблюдение сроков исполнения, численность персонала и единиц оборудования и прочие количественные характеристики; степень доверия потребителей, безопасность, вежливость, эстетичность, удобство, гигиеничность и другие качественные характеристики.

Наряду с национальными системами сертификации услуг в зарубежных странах в некоторых сферах услуг действуют региональные и международные организации, которые проводят аттестацию в сфере услуг, по сути аналогичную сертификации.

К международным организациям по аттестации в сфере обслуживания относятся Ассоциация международного воздушного транспорта, Международная ассоциация социального страхования, Европейская федерация автотуризма, Всемирная организация туризма, Всемирный почтовый союз и др.

Вопросы для самопроверки

1. Сущность обязательной и добровольной сертификации.
2. Сертификация и технические барьеры в торговле.
3. Правовые основы сертификации.
4. Принципы, правила и порядок проведения сертификации продукции.
5. Схемы сертификации.
6. Знаки соответствия.
7. Системы обязательной сертификации.
8. Системы добровольной сертификации.
9. Практика сертификации на национальном уровне. Основные правила.
10. Порядок ввоза товаров, подлежащих обязательной сертификации.
11. Сертификация на международном и региональном уровнях.
12. Сертификация в СНГ.
13. Сертификация систем обеспечения качества.
14. Экологическая сертификация.
15. Сертификация услуг.

6. КУРСОВОЙ ПРОЕКТ

Системный подход

Системный подход базируется на рассмотрении изучаемого объекта во взаимосвязи с окружающими объектами. Его задачами являются: исследование специфических связей; установление закономерностей, присущих отдельным типам систем; разработка на этой основе определенных методов их описания и изучения.

Основные положения системного подхода можно сформулировать следующим образом: параметрическое описание, которое является простейшей формой научного анализа, представляет собой исследование любого объекта, которое базируется на эмпирических наблюдениях, описании свойств, признаков и отношений исследуемого объекта к другим.

Структурное описание исследуемого объекта, которое выполняют после выявления параметров, предусматривает переход к определению поэлементного строения исследуемого объекта. Основная задача состоит в том, чтобы установить взаимосвязи свойств, признаков, выявленных при параметрическом описании исследуемого объекта.

Функциональное описание исследуемого объекта, которое может быть выполнено исходя из функциональных зависимостей между параметрами (функционально-параметрическое описание) или частями объекта (функционально-структурное описание). Специфика состоит в том, что функция части объекта задается на основе характеристики всего объекта.

Приведенные положения показывают постепенное усложнение подхода к исследуемому объекту, так как каждый последующий этап включает все предыдущие и, кроме того, решает некоторые новые задачи.

Использование системного подхода упрощает процесс исследования. Особенность системного подхода заключается в новой ориентации всего хода исследования, которая состоит в стремлении построить целостную картину исследуемого объекта.

Системный подход базируется на следующих принципах:

1. При исследовании объекта как системы описание его частей не имеет самостоятельного значения, так как каждая часть объекта описывается не отдельно, а с учетом ее роли во всем объекте.

2. Специфика системного объекта не исчерпывается особенностями составляющих его частей, а связана с характером взаимосвязей между отдельными частями.

3. Один и тот же исследуемый объект выступает как обладающий одновременно разными характеристиками, параметрами, функциями, структурой. Проявлением этого является иерархичность строения системы.

4. Исследование системы, как правило, неотделимо от условий ее функционирования.

5. При исследовании сложного объекта учитывается зависимость состояния частей от состояния всей системы.

6. Анализ функциональной характеристики исследуемого объекта может оказаться недостаточным, так как весьма важно установить целесообразность функционирования системы.

Использование системных методов позволяет избегать односторонних ошибочных представлений, заключений и решений. Системный подход является средством анализа и синтеза при одновременном использовании большого числа компонентов и факторов, а также взаимосвязей, образующих данную систему. Он позволяет рассматривать радиоэлектронную аппаратуру как единое целое при анализе и проектировании ее частей.

Радиоэлектронная аппаратура является частью (подсистемой) радиотехнических систем. Свойства таких систем описываются совокупностью электрических, конструктивно-технологических, эксплуатационных и экономических параметров и характеристик. Для исследования и проектирования целесообразно разделять радиоэлектронные устройства как систему на подсистемы:

по выполняемым функциям;

по физической сущности процессов и особенностям их закономерностей.

Человеческую деятельность сопровождают всевозможные измерения, которые определяют не только уровень контроля и управления конструкторскими и технологическими процессами, но и качество производимой продукции.

Из всего разнообразия средств измерений наиболее распространены электрические, которые позволяют измерять различные параметры в широком диапазоне, имеют высокую чувствительность и точность, что упрощает процессы автоматизации получения, обработки и хранения результатов измерений.

Совершенствование электроизмерительной техники основывается на современной элементной базе электроники и достижениях автоматики и вычислительной техники при успешном решении технических вопросов. Например, электромеханические приборы приобрели иной вид и качество вслед-

ствие замены опор осей подвижных систем на кернах растяжками и подвесами. Применение элементной базы микроэлектроники позволило освоить выпуск аналоговых измерительных приборов без подвижных частей и др.

Совершенно иными свойствами обладают цифровые измерительные приборы – наиболее перспективные средства измерений, поскольку имеют более высокую точность и быстродействие, потребляют мало мощности из измерительной цепи, а их применение дает возможность использовать при измерениях вычислительную технику.

Современное направление совершенствования средств измерений – применение микропроцессоров. Имея малые размеры и массу, они могут по заданной программе учитывать при измерениях постоянную составляющую измеряемой величины, контролировать ее значение относительно заданных границ, вычислять статические параметры исследуемого процесса, корректировать характеристики измерительных средств.

Электрические методы измерения электрических и неэлектрических величин используют огромное число различных методов и приборов. В этих условиях особое значение приобретает умение специалиста провести анализ и критически подойти к выбору метода и средства измерения для решения конкретной научной или технической задачи.

Основная задача – комплексно использовать полученные знания по отдельным дисциплинам на основе системного подхода при проектировании, постановке многовариантных задач и выборе оптимального метода или средства измерения.

Цели и задачи курсового проекта

Дисциплиной «Метрология и техника измерений» по специальности «Конструирование и производство радиоаппаратуры» предусмотрено выполнение курсового проекта, особенностью которого является то, что он требует от студента применения совокупности сформированных компетенций, умения работы с научной литературой, аналитических навыков и самостоятельности мышления при выборе методов и средств измерений.

Перед студентами при выполнении курсового проекта поставлены определенные задачи, основными из которых являются:

1. Систематизация и расширение теоретических знаний при решении комплексных задач разработки методов и средств измерений.
2. Приобретение навыков работы с научной литературой и информационными поисковыми системами.

3. Сравнительный анализ рассмотренных устройств и методов измерений с целью выбора оптимального варианта.
4. Расчет погрешностей выбранного устройства или метода измерений.
5. Обоснование предложений по снижению погрешностей.
6. Выводы и рекомендации на основе проведенных исследований.

Таким образом, цели курсового проектирования следующие: систематизация, закрепление и расширение теоретических знаний в области эскизного проектирования средств и методов измерений; углубленное изучение методов поиска и анализа информации в соответствии с темой проекта; проведение сравнительного анализа и расчета погрешностей; приобретение навыков самостоятельной работы.

Техническое задание

Техническое задание (ТЗ) предусматривает рассмотрение студентом индивидуального задания на курсовое проектирование и уточнение совместно с руководителем проекта объема и содержания работ, которые необходимо выполнить при эскизном проектировании средств и методов измерений.

В начале семестра каждому студенту выдается индивидуальное задание на курсовое проектирование руководителем проекта. В задании указывается срок выдачи, сроки проведения рубежного контроля выполнения студентом отдельных этапов проектирования и дата защиты проекта. Задание оформляют на специальном бланке, в котором записывают: тему проекта; исходные данные к проекту; объем и содержание графических работ; объем и содержание расчетно-пояснительной записки; рекомендуемую литературу; дополнительные указания к проекту.

Тема проекта

В качестве темы для курсового проекта рекомендуется проведение сравнительного анализа и расчета погрешностей предлагаемых методов или средств измерений.

Исходные данные к проекту

Основными исходными данными для выполнения проекта являются:

- 1) выбранное по согласованию с руководителем устройство или метод измерения физической величины;
- 2) перечень анализируемой литературы и глубина поиска;

- 3) количество источников, необходимых для проведения анализа;
- 4) методика расчета погрешностей;
- 5) дополнительные указания к проекту (дополнительные требования к проекту исследовательского характера, а также дополнения, которые появятся у студента при работе над курсовым проектом).

Объем и содержание расчетных работ

Расчетная часть проекта включает расчет погрешности выбранного метода или устройства. При этом составляющими погрешности средств измерений являются: значения систематической составляющей или ее математическое ожидание; среднеквадратическое отклонение случайной составляющей (или ее функция спектральной плотности): составляющая от гистерезиса – вариация выходного сигнала средств измерений.

Для аналоговых средств измерений в качестве полных динамических характеристик выбирают любую из следующих: переходную, импульсную, амплитудно-фазовую, амплитудно-частотную, а для аналого-цифровых добавляется (кроме перечисленных для аналоговой части) погрешность датирования отсчета и максимальная скорость измерений.

Объем и содержание расчетно-пояснительной записки

Расчетно-пояснительная записка должна включать следующие разделы: содержание;

введение;

пояснения к каждому из рассмотренных методов или средств измерений (не менее 15), из которых понятен принцип работы устройства или суть метода измерения;

анализ рассмотренных устройств на предмет их достоинств и недостатков, областей применения и погрешностей и обоснование выбора устройства, погрешность которого будет рассчитываться;

расчет погрешности выбранного метода или устройства;

анализ полученных результатов и рекомендации по уменьшению погрешностей;

возможный вариант решения технической задачи, предлагаемый студентом;

выводы;

список используемой литературы, интернет-данных и программного обеспечения;

приложение.

Расчетно-пояснительная записка должна содержать не менее 30 листов.

Рекомендуемая литература

Руководитель проекта указывает источники, которые студенту необходимо использовать при выполнении курсового проекта.

Дополнительные указания к проекту

Этот раздел используется руководителем проекта для включения дополнительных требований к проекту исследовательского характера, а также для включения дополнений, которые появляются у студента при работе над курсовым проектом.

Курсовые проекты исследовательского характера связаны с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области метрологии и техники измерений. Примерное содержание пояснительной записки курсового проекта исследовательского характера:

- Раскрытие темы проекта, формулирование и обоснование основной задачи исследования, его актуальность.
- Обзор состояния вопроса по литературным источникам, возможные направления решения задачи исследования.
- Теоретические исследования, выводы основных закономерностей и соотношений. Оптимизация параметров метода или устройства для повышения эффективности и уменьшения погрешности.
- Алгоритм программы расчета погрешностей или методический план экспериментальных исследований, необходимое оснащение и его назначение при проведении экспериментов, описание экспериментальной установки.
- Обобщение данных экспериментальных и теоретических исследований, их сопоставление с расчетными. Общие выводы по результатам исследований и их применимость при разработке радиоаппаратуры или измерениях.

Указания к выполнению курсового проекта

В расчетно-пояснительной записке приводятся подробные исходные данные к проекту и отражается выполнение всех пунктов задания на курсовое проектирование.

Во введении рекомендуется отразить следующие вопросы:

задача курсового проекта по дисциплине «Основы метрологии и техники измерений»;

цель проводимого исследования;

связь проводимого исследования с решением практических задач.

Третий раздел предполагает работу с источниками информации – поиск данных для изучения метода или средства измерения. Эта часть проекта предполагает работу с электронными средствами информации, периодическими изданиями и должна показать умение студента самостоятельно работать с научной литературой. Методика поиска необходимой информации представлена в разделе «Информационное обеспечение».

Четвертый раздел предполагает изучение и анализ собранной информации (не менее 15 источников). Каждое устройство или метод должны быть описаны так, чтобы было понятно их содержание, характеристики и параметры, особенности, погрешности, область применения, достоинства и недостатки. Далее проводится анализ рассмотренных источников информации с целью выявления наиболее оптимального и перспективного для решения поставленной задачи.

Пятый раздел посвящен расчету погрешностей выбранного метода или устройства. Общая схема определения погрешностей представлена в разделе «Определение погрешностей».

Шестой раздел – анализ проведенных расчетов погрешностей. Студент должен показать уровень знаний и навыков, полученных при изучении дисциплины «Основы метрологии и техники измерений», умение анализировать результаты расчетов и применимость их для решения практических задач.

Седьмой раздел оговаривается отдельно.

Восьмой раздел – выводы. На основе всех проведенных исследований и расчетов необходимо сделать выводы о величине погрешностей, возможностях их снижения или использования перспективных разрабатываемых методов или устройств.

Девятый раздел – литература. Список используемой литературы должен быть расположен по алфавиту и оформлен согласно государственному стандарту.

Десятый раздел – приложения, где могут быть размещены схемы, рисунки, программы расчета погрешностей, алгоритмы поиска информации.

Информационное обеспечение

Документальные источники научно-технической информации

Структурной единицей научно-технической информации является научный или технический документ, предназначенный для её хранения и передачи во времени и пространстве и для непосредственного использования.

В зависимости от формы представления документы могут быть текстовыми (книги, журналы, рукописи и т. д.), графическими или изобразительными (чертежи, схемы, графики, планы, карты, диаграммы и т. п.) и аудиовизуальными (звукозаписи, кинофильмы, диафильмы, видеофильмы и др.).

Все виды документов принято делить на первичные и вторичные. Деление это достаточно условно, поскольку относится главным образом к самой информации, а не к документам, в которых она содержится. К первичным относятся документы, которые отражают непосредственные результаты научных исследований и технических разработок. Ко вторичным – документы, являющиеся результатом аналитико-синтетической и логической переработки научной информации, содержащейся в первичных документах. При этом следует иметь в виду, что и первичные документы наряду с новыми сведениями и новыми результатами научно-технической деятельности, как правило, содержат и аналитико-синтетическую переработку уже известных из других первичных документов сведений и результатов. Тем не менее деление документов на первичные и вторичные широко используется в научно-информационной деятельности.

Первичные документы и издания

Первичные документы могут быть опубликованными (издания) и не публикуемыми (правда, по мере развития информационных технологий хранения, поиска и доставки информации потребителю это различие становится всё менее существенным, более того значение непубликуемых документов всё более растёт, поскольку они, как правило, содержат новую и более подробную информацию).

Книги и брошюры

Основным видом опубликованных документов являются книги (непериодические текстовые издания объёмом свыше 48 с.). Непериодические текстовые издания объёмом менее 48 с. называются брошюрами. Среди книг важное научное значение имеют монографии, содержащие всесторонние исследования какой-либо темы или проблемы. Монографии могут принадлежать одному или нескольким авторам. Другими видами книг, содержащих научную информацию, являются сборники научных трудов, учебники и учебные пособия. Сборники научных трудов могут быть тематическими, в которых собраны научные произведения различных авторов по какой-то определённой проблеме, или многоотраслевыми, в которых объединяются научные

труды авторов, работающих в одном научном учреждении. К сборникам научных трудов относятся и публикуемые тезисы или доклады научно-технических конференций, и так называемые продолжающиеся издания, представляющие собой сборники научных трудов академических и научно-исследовательских институтов, вузов и университетов, публикуемые без строгой периодичности по мере накопления материала под общими заглавиями типа «Труды . . .», «Учёные записки . . .», «Известия . . .» и т. п. с указанием конкретного научного учреждения или вуза, выпускающего эти сборники.

Основным недостатком книг, а особенно монографий, является достаточно длительный период их написания и подготовки к печати. Для монографий этот срок составляет обычно от 3 до 5 лет, для учебников и учебных пособий – до 3 лет, для сборников – до 1–2 лет. Именно по этой причине в настоящее время всё более важное значение приобретают сборники, как наиболее оперативные из всех книжных изданий источники научной и технической информации.

Особое место среди них занимают сборники, отражающие материалы научных и научно-технических конференций, конгрессов, симпозиумов и т. п. Их можно подразделить на материалы, опубликованные до начала конференции, и материалы, публикуемые по окончании конференции. Обычно до начала конференции публикуют программу конференции (с названиями всех докладов и указанием их авторов) и сборники тезисов докладов. Объём тезисов по каждому докладу обычно составляет от 1 до 3 страниц. Часто сборники тезисов докладов являются единственными публикуемыми материалами конференции, причём их тираж рассчитан только на участников конференции, т. е. весьма ограничен, что делает эти материалы труднодоступными для широкого круга специалистов. Иногда по окончании конференции публикуют полные тексты докладов, но их тираж также рассчитан только на участников конференции. Практически всегда в научно-технических журналах, соответствующих тематике конференции, по её окончании публикуют информационное сообщение о результатах конференции, в котором кроме принятых решений и резолюций приводят краткое изложение наиболее важных и интересных докладов и резюмируют результаты проведённых дискуссий.

Для обеспечения преемственности научных и технических знаний исключительное значение имеет учебная литература: учебники, учебные и методические пособия, руководства и т. п. Учебная литература главным образом предназначена для обучения. Она в строго систематизированном виде содер-

жит основные научные положения и факты для определённой области знаний. В ней определяется и основная терминология той или иной научной дисциплины. Поэтому учебная литература представляет интерес и для специалистов, особенно из смежных отраслей знаний, так как позволяет наиболее легко войти в новую для них проблематику и использовать возможности, методы и методологию смежных областей науки в своих исследованиях. Учебная литература, особенно по фундаментальным наукам, устаревает не так быстро, как монографии, поскольку содержит устоявшиеся научные положения, которые достаточно консервативны в любой области знаний.

Следует упомянуть об особом виде книжных изданий, публикуемых от имени государственных учреждений и ведомств и являющихся их официальными изданиями. В них публикуют ведомственные инструкции, бюллетени и т. п., в том числе регулярно выпускаемые органами государственной статистики сборники и бюллетени статистических данных. Сюда же относятся официальные издания различных сводов законов, кодексов и других правовых документов.

Многие официальные издания не представляют научного интереса, однако часть из них содержит важную научную и техническую информацию. Это различные статистические отчёты, которые совершенно необходимы для планирования дальнейшего развития экономики и конкретных производств, а также для исследований в области различных экономических дисциплин, демографии, экологии и т. п.

Все перечисленные виды книг могут быть как однотомными, так и многотомными, а также составлять серии. Многотомное издание составляет единое целое, ограниченное определённым числом томов. Серия же состоит из ряда самостоятельных произведений, обычно связанных общностью или близостью тематики и выпускаемых одним издательством под общим серийным заглавием. В отличие от многотомников, тома которых нумеруют, выпуски серии могут быть нумерованными, а их число в серии заранее не ограничивается.

Как уже указывалось выше, написание и подготовка к печати различных видов книжных изданий требует довольно значительного времени, которое может составлять от одного года до 5 и более лет. Правда, в связи с быстрым техническим прогрессом в полиграфической технике (электронный набор и др.) длительность процесса подготовки рукописи к печати существенно сокращается и оперативность книжных изданий непрерывно растёт.

Специальные виды технических изданий

К официальным изданиям иногда относят специальные виды технических изданий, но чаще их считают самостоятельным видом изданий. Важнейшими из них являются государственные и отраслевые стандарты, патентная документация, технические каталоги и прейскуранты на оборудование и материалы, а также другие межотраслевые и отраслевые технические документы.

Стандарты определяют типы, виды и марки продукции, основные технические показатели и нормативы её качества, методы испытаний, требования к упаковке, маркировке, хранению и транспортированию; устанавливают единицы измерений физических величин, общетехнические величины, термины и определения. Целью стандартизации является обеспечение гарантированного качества промышленной и сельскохозяйственной продукции и унификация отдельных деталей, узлов, агрегатов и систем.

В России стандарты носят обязательный характер. Причём по сфере действия их разделяют на государственные и отраслевые. За рубежом большинство стандартов носит рекомендательный характер. Обязательными являются лишь стандарты, определяющие показатели безопасности и экологичности выпускаемой продукции. В связи с развитием международной торговли и интеграционных процессов в мировой экономике всё большую роль начинают играть международные стандарты, обеспечивающие сопрягаемость и взаимозаменяемость узлов, блоков и систем, выпускаемых в различных странах, и единообразие требований к качественным показателям всей выпускаемой продукции.

К стандартам близки межотраслевые и отраслевые технические документы: технические условия на каждый вид выпускаемой продукции; нормы на отдельные узлы, агрегаты и технологическую оснастку; руководящие технические материалы (РТМ), определяющие широко применяемые процессы (включая контроль и испытания продукции) и т. п.

Исключительное значение для создания новых образцов техники, разработки новых технологий и материалов имеет патентная информация. Она включает два вида документов: патенты или авторские свидетельства и описания изобретений, прилагаемые к патентам и авторским свидетельствам. Сами патенты и авторские свидетельства являются лишь юридическими документами, удостоверяющими право патентообладателя на данное изобретение. В них кроме названия и авторов не содержится никакой научно-техни-

ческой информации. Они выдаются в одном экземпляре заявителю и хранятся у него, в то время как описания изобретений, где содержится исчерпывающая информация о сущности изобретения, хранятся во всех патентных фондах и могут быть высланы любому пользователю по его запросу. Однако воспользоваться этим изобретением, т. е. внедрить его в производство, он не имеет права без разрешения патентообладателя. Им может быть автор изобретения или юридическое лицо, от имени которого посылалась заявка на изобретение, и которое, таким образом, является патентообладателем и имеет исключительное право на промышленное использование данного изобретения. Для приобретения права на промышленное использование любого изобретения пользователь может получить лицензию на его использование у патентообладателя, для чего между ними заключается контракт, который может предусматривать либо разовое вознаграждение патентообладателя, либо его долю в прибыли, полученной при его внедрении, либо и то и другое.

В СССР основной формой охраны авторских прав изобретателя (заявителя) являлось авторское свидетельство. Оно обеспечивало бессрочное сохранение авторского права на изобретение и получение вознаграждения в случае его использования в производстве. Исключительное право на промышленное использование изобретений предоставлялось государству независимо от того, являлось ли заявителем юридическое лицо (государственное предприятие или организация) или физическое лицо (автор изобретения).

В настоящее время в России принята патентная форма охраны авторских прав, как и в большинстве индустриально развитых странах.

В тексте описания изобретения приводится чёткое изложение его сущности, указываются возможные области применения, кратко описываются известные методы решения задачи (аналоги) и из них выбирается самое близкое по технической сущности известное решение задачи (прототип) к патентуемому решению. Затем следует полное описание изобретения с подробным указанием вновь введённых элементов и связей по сравнению с аналогами и прототипом, что и определяет новизну или так называемый «изобретательский уровень» предлагаемого технического решения. Описание изобретения заканчивается «патентной формулой», в которой предельно лаконично излагаются предмет изобретения с выделением тех новых элементов и связей, которые собственно и составляют сущность изобретения и являются объектом правовой защиты. Как правило, описание изобретения дополняется необходимыми схемами и чертежами, помогающими уяснить сущность изобретения и принцип работы данного устройства.

Основными объектами патентования являются устройство и способ. Под устройством здесь понимается любой технический объект, отличающийся какими-то новыми элементами и связями от уже известных. Под способом понимают новый метод решения той или иной технической задачи, отличающийся от уже известных, новую технологию изготовления и обработки материалов и т. п.

Патентная литература весьма обширна. Ежегодно во всём мире выдаётся около 1 млн патентов и поэтому для поиска в патентном фонде нужной информации необходима детальная классификация. Ранее в каждой стране использовалась собственная патентная классификация, что доставляло большие затруднения при поиске в зарубежных патентных фондах. В настоящее время в большинстве стран, в том числе и в России, принята единая международная патентная классификация, которая более подробно будет описана далее.

Кроме стандартов и патентной документации к специальным видам технических изданий относятся технические каталоги (их называют также промышленными или торговыми каталогами). Обычно они содержат перечень и краткие технические характеристики изделий, выпускаемых отдельным предприятием или фирмой, объединением или отраслью. За рубежом кроме фирм-производителей каталоги выпускают и фирмы-продавцы, которые концентрируют у себя изделия одинакового назначения, выпускаемые различными фирмами. Особенно часто это практикуется в тех случаях, когда номенклатура изделий очень широкая, например изделий электронной техники и микроэлектроники. Конечно, в каталогах не приводится полное техническое описание изделий, но приводимые технические характеристики и показатели вполне достаточны для проведения сравнительного анализа однотипных изделий и выбора для каждой конкретной цели и области применения одного из них.

Поскольку в каталогах не всегда указываются цены на изделия, то приходится ещё пользоваться отдельно издаваемыми (в основном, торгующими организациями) прейскурантами и ценниками. В рыночных условиях отсутствуют единые цены даже на одни и те же изделия, к тому же даже в одной и той же торгующей организации цены довольно часто меняются, поэтому прейскуранты являются документами временного характера.

К специальным видам изданий относят и материалы технической информации и обмена опытом, в которых освещаются новые достижения в области техники и промышленного производства. Они издаются в виде отдельных книг и их серий, брошюр и листовок. Примером могут служить инфор-

мационные листки, издаваемые территориальными центрами научно-технической информации.

Периодические издания

Наиболее оперативными научно-техническими изданиями являются периодические издания, выходящие через регулярные промежутки времени. К ним относятся научные, технические и научно-популярные журналы, посвящённые определённым отраслям науки и техники, а также газеты.

Научный журнал – старейший вид периодических изданий. Первый из них появился во второй половине XII века, а начиная с XIX века научный журнал становится основным источником информации о новых достижениях в науке и технике. В настоящее время среди источников, которыми пользуются учёные и инженеры, журнальные статьи прочно занимают первое место.

Газеты – это периодические издания, выходящие с периодичностью от одного дня до одной недели, в которых публикуются материалы преимущественно о текущих общественно-политических событиях. Однако во многих газетах существуют рубрики научных новостей, где публикуются краткие, в основном научно-популярного характера, сообщения о новейших научных и технических достижениях. Ввиду очень высокой оперативности газетных сообщений и большого тиража газет, что обеспечивает широкую читательскую аудиторию, газетные сообщения могут представлять большой интерес, хотя серьёзным источником научной информации большинство учёных их не считает из-за популярного или рекламного характера газетных сообщений.

Периодические издания пока прочно удерживают первенство в качестве основного источника новой научной и технической информации, однако всё явственней выявляются их недостатки. К ним следует отнести: недостаточную адресность информации, определяемую несовершенством и широтой профилирования научных журналов; вынужденный лаконизм и недостаточную подробность журнальных статей, так как их предельный объём в большинстве журналов ограничен; и наконец, недостаточную оперативность (если не считать газетных публикаций). Всё это, а также быстрое развитие технических средств копирования, электронных средств хранения и транспортировки информации привели к тому, что в настоящее время всё большее значение приобретают непубликуемые источники научно-технической информации.

Именно из непубликуемых источников можно почерпнуть самую оперативную, подробную и достоверную информацию о самых последних проведённых научных исследованиях.

Непубликуемые научно-технические документы

К основным видам непубликуемых научно-технических документов относятся научно-технические отчёты о выполненных НИОКР (научно-исследовательских и опытно-конструкторских работах), диссертации, представляемые на соискание учёной степени, депонированные рукописи, научные переводы, текстовая и графическая конструкторская документация, эксплуатационная документация на сложные технические объекты и т. д. Непубликуемые первичные документы могут быть размножены в необходимом количестве для удовлетворения заявок пользователей.

Среди непубликуемых источников научно-технической информации важнейшее место занимают научно-технические отчёты и диссертации.

Научно-технические отчёты содержат результаты законченных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. Структура научно-технических отчётов в значительной мере стандартизована, хотя остаётся глубоко специфичной в содержательном плане для каждой отрасли науки и техники и даже для отдельных исполнителей. Он начинается с аннотации или реферата, в котором кратко излагаются задачи исследования и основные достигнутые результаты. Затем следует введение, в котором определяется современное состояние вопроса, обосновывается актуальность работы и формулируется цель исследования. Первым разделом отчёта обычно является аналитический обзор использованных источников информации.

Обзор обычно начинают с анализа основных монографий в данной узкой области науки и техники. Это позволяет уяснить теоретические основы данной области науки и техники, получить представление об её истории развития и современном состоянии, определить основные нерешённые проблемы и оценить перспективность различных направлений их преодоления. Однако ограничиваться только монографиями нельзя, поскольку, во-первых, излагаемый в них материал даже в лучшем случае имеет срок давности 3–5 лет, а во-вторых, если целью НИОКР является создание новых образцов техники, то получить из монографий достаточно подробные сведения о существующих аналогах практически не удаётся, так как в монографиях, если и содержатся такие сведения, то они недостаточно подробны. Обычно в монографиях описываются лишь принципиальные основы технических решений. Поэтому с целью ознакомления с самыми последними достижениями науки и техники в данной области и поиска аналогов необходимо просматривать научно-технические журналы соответствующего профиля и патентную информацию в течение 3–5 лет. Весьма ценную информацию можно извлечь также из

непубликуемых источников: научно-технических отчётов и диссертаций, которые обязательно содержат обзорную часть. Заканчивается аналитический обзор выводами, в которых констатируется современное состояние данной узкой области науки и техники, формулируются перспективные направления дальнейшего развития и основные нерешённые проблемы, анализируются основные недостатки существующих аналогов как среди серийно выпускаемых образцов техники, так и среди нереализованных технических решений, почерпнутых из патентных фондов, периодических изданий и научно-технических отчётов. На основе этих выводов конкретизируются задачи данного исследования.

Далее следует основная часть научно-технического отчёта, структура и содержание которой определяются темой и характером проводимой работы. Если работа представляет собой НИОКР, целью которой является создание новых образцов техники, то основная часть имеет обычно следующую структуру.

Вначале приводятся результаты предпроектных НИР, включая и маркетинговое исследование. Целью этих НИР обычно является поиск и анализ альтернативных концептуальных научно-технических решений и проведение предварительных исследований, в том числе и экспериментальных, для выбора оптимального концептуального решения, а также определение экономически и технически обоснованных показателей и характеристик разрабатываемого объекта.

Далее следует разработка технического задания на проектирование объекта, последовательно излагаются результаты основных этапов проектирования: эскизного, технического и рабочего. Обычно полные результаты проектирования оформляют в виде комплектов текстовой и графической проектной документации, состав и оформление которой стандартизированы. Для сложных объектов общий объём проектной документации может составлять десятки и сотни томов. Поэтому чаще всего проектная техническая документация не включается в научно-технический отчёт, а оформляется в виде самостоятельных документов, а в отчёте лишь обосновываются те или иные технические решения, принятые при проектировании.

Отчёт заканчивается общими выводами, в сжатом виде формулирующими основные результаты проведённых исследований, и заключением, в котором эти результаты оцениваются и сравниваются с последними мировыми достижениями и требованиями технического задания, а также намечаются пути использования этих результатов.

Научно-технические отчёты не считаются публикациями, поскольку доступ к ним обычно ограничен и сведения о них не распространяются по традиционным библиографическим каналам, а концентрируются в центральных и отраслевых институтах научно-технической информации. Кроме того, в связи с развитием рыночных отношений научно-технические отчёты и проектная документация становятся объектами интеллектуальной собственности тех организаций и научных учреждений, в которых проводятся соответствующие работы, или предприятий-заказчиков, которые их финансируют. Поэтому использовать их можно только с разрешения этих предприятий и организаций.

Особое место среди непубликуемых документов занимают диссертации и авторефераты к ним. Диссертацией называется законченное научное исследование, представленное на соискание учёной степени кандидата или доктора наук с указанием широкой и узкой специализации. Диссертация существует в единичных экземплярах, но подвергается строгой библиографической регистрации. Кроме того, для ознакомления научной общественности с основными результатами исследований, приведёнными в диссертации, автор составляет автореферат. Авторефераты публикуют ограниченным тиражом (100–150 экземпляров), но обладают всеми правами опубликованного издания. Поэтому все научные положения, излагаемые в диссертации, считаются официально введёнными в научный оборот наравне с публикациями.

Промежуточное положение между опубликованными и непубликуемыми документами занимают материалы, статьи и сообщения, распространяемые через компьютерную сеть INTERNET. Популярность этого способа распространения и поиска научно-технической информации быстро возрастает. Помимо сайтов, создаваемых и поддерживаемых отдельными организациями и даже физическими лицами, в настоящее время получают всё большее признание научно-технические журналы, которые распространяются только по сети INTERNET, а в бумажном виде не издаются. Кроме того, многие традиционно издаваемые научно-технические журналы помещают в сети INTERNET либо полную электронную копию журнала, либо аннотации всех помещаемых в нём статей. Благодаря высокой оперативности этой информации и удобству её поиска и доставки потребителю этот вид информационного обеспечения в настоящее время уверенно выходит на ведущие позиции. Уже сейчас во многих серьёзных статьях можно видеть ссылки на источники, получаемые из сети INTERNET, и, по-видимому, недалеко то время, когда ма-

териалы, помещаемые в INTERNET, будут признаваться полноценными публикациями.

Огромный и продолжающий быстро расти объём как публикуемых, так и непубликуемых первичных источников научно-технической информации затрудняет поиск среди них нужных сведений. Для облегчения такого поиска центральными и отраслевыми институтами научно-технической информации, ведущими государственными библиотеками и научными учреждениями составляются и издаются вторичные документы и издания.

Вторичные документы и издания

Справочные издания

Вторичные научно-технические документы и издания подразделяют на справочные, обзорные, реферативные и библиографические.

К справочным изданиям относятся различные научно-технические справочники, энциклопедии, словари и т. п. В них приводится терминология тех или иных отраслей знаний, краткие теоретические обобщения и конкретные данные справочного характера по тем или иным отраслям науки и техники.

Справочная литература предназначена для быстрого получения каких-либо сведений научного, прикладного или познавательного характера.

Среди этой литературы наибольшее значение имеют общие и отраслевые энциклопедии.

Энциклопедиями называют справочные издания, содержащие наиболее существенную информацию по всем (общие энциклопедии) или отдельным (отраслевые) областям знания и практической деятельности. По структуре их делят на алфавитные и систематические, по объёму – на настольные (1–4 тома), малые (5–12 томов) и большие (несколько десятков томов).

Общие и широкоотраслевые энциклопедии, как правило, имеют алфавитную структуру. Узкоспециализированные – систематическую.

Статьи в энциклопедиях могут быть различного типа и объёма. Наиболее обширными являются статьи-обзоры, охватывающие крупные темы. Но большинство составляют статьи-справки, содержащие определения и основную информацию о том или ином предмете, понятии или явлении. Каждая статья заканчивается библиографическим списком, который отсылает читателя к источникам, позволяющим более углублённо изучить данный вопрос. Ко многим энциклопедиям прилагается алфавитно-предметный указатель, облегчающий поиск необходимых сведений.

В нашей стране издавались как общие, так и отраслевые энциклопедии. Дважды издавалась «Большая Советская Энциклопедия» (БСЭ). Первое издание было завершено в 1947 г. и состояло из 65 томов, второе издавалось с 1949 по 1958 г. и состояло из 51 тома, причём после этого ежегодно публиковался «Ежегодник БСЭ», в котором приводились новые сведения. Трижды выпускалась «Малая Советская Энциклопедия» (последнее издание в 10 томах было выпущено с 1958 по 1961 г.). Общие настольные энциклопедии представлены «Энциклопедическим словарём», издававшимся неоднократно в двух и трех томах.

Из отраслевых энциклопедий можно указать «Физический энциклопедический словарь», «Техническую энциклопедию», «Краткую химическую энциклопедию», энциклопедический словарь «Автоматизация производства и промышленная электроника» и др.

Энциклопедии играют важную роль в научно-информационной деятельности. В их подготовке и издании принимают участие ведущие научные коллективы и учёные страны. Поэтому научные положения и факты, излагаемые в энциклопедиях, имеют высокую степень достоверности и являются официально признанными наиболее авторитетными учёными. Однако следует помнить, что подготовка и издание энциклопедии требуют длительного времени и больших финансовых затрат, поэтому переиздаются и перерабатываются они через достаточно большие периоды времени (15–20 лет). Отсюда ясно, что научные сведения, почерпнутые из энциклопедий, могут оказаться устаревшими. Особенно это касается динамично развивающихся областей науки и техники, где период старения может составлять всего 2–3 года.

Более специализированными и компактными изданиями являются научно-технические справочники, которые чаще всего имеют не алфавитную, а систематическую структуру, а по содержанию насыщены конкретным справочным материалом. В инженерной и особенно проектной деятельности справочники как источники информации занимают ведущее место. Поэтому любой инженер должен хорошо ориентироваться в справочной литературе, знать основные справочники, соответствующие своему роду деятельности и уметь быстро извлекать из них необходимые сведения.

К справочной литературе относятся также толковые словари, терминологические словари по различным отраслям науки и техники, а также двуязычные и многоязычные словари. Такие словари могут быть как общими, так и специализированными, т. е. содержащими слова и термины, относящиеся

к определённой области, причём многоязычные словари бывают только специализированными.

Обзорные и реферативные издания

В обзорных изданиях в концентрированном и обобщённом виде приводится информация, полученная из множества первоисточников по определённому тематическому направлению и, как правило, за определённый интервал времени, непосредственно предшествующий подготовке и опубликованию данного обзора (обычно от 3 до 10 лет).

Обзоры заняли прочное место в системе вторичных научных документов. Они обычно составляются или редактируются крупными учёными, являющимися авторитетами в данной области науки и техники. Обзоры позволяют другим учёным, инженерам и научно-техническим работникам с минимальной затратой сил и времени следить за современным состоянием и основными направлениями развития соответствующей области науки и техники.

Различают два вида обзоров – аналитический и реферативный.

Аналитический обзор является результатом всестороннего анализа первичных научных документов, содержит аргументированную синтетическую оценку первичных источников и даёт обоснованные рекомендации относительно перспектив развития и использования соответствующих достижений науки и техники. Такого рода обзоры имеют самостоятельную научную ценность и помимо самостоятельных изданий, как правило, содержатся во всех диссертациях и научно-технических отчётах по проведённым НИОКР.

Реферативный обзор характеризуется меньшей глубиной анализа и строится на основе извлечения, систематизации и некоторого обобщения определённых данных из первичных научных и технических документов. Реферативные обзоры обычно составляют органы научно-технической информации (отраслевые институты и центры научно-технической информации), их распространяют либо в виде периодически выпускаемых брошюр, либо по индивидуальным заявкам пользователей. Реферативные обзоры занимают промежуточное место между аналитическими обзорами и реферативными тематическими сборниками и библиографическими указателями. По сравнению с последними, они отличаются значительно большей целенаправленностью, предварительной сортировкой и отбором наиболее важных первичных документов, наличием обобщающих выводов и оценок приводимой информации.

Аналитические и реферативные обзоры, подготавливаемые центральными органами научно-технической информации, издаются типографским способом или средствами малой полиграфии и рассылаются по подписке или по индивидуальным заявкам. Обзоры, содержащиеся в диссертациях и научно-технических отчётах, чаще всего остаются неопубликованными.

Реферативные издания подразделяют на реферативные журналы и реферативные сборники и содержат краткое изложение первичных научно-технических документов.

Реферативные журналы – это периодические издания журнальной или карточной формы, составленные из рефератов опубликованных или непубликуемых первичных документов. Реферативные сборники могут быть периодическими, продолжающимися или непериодическими изданиями, содержащими, как правило, рефераты непубликуемых документов. И реферативные журналы, и реферативные сборники подразделяют по отраслям знаний.

Всероссийский институт научной и технической информации (ВИНИТИ) издаёт «Реферативный журнал ВИНТИ» по всем отраслям знаний. Он издаётся периодически в виде сводных томов по крупным разделам (например, «Физика», «Химия», «Электротехника») или в виде отдельных выпусков по более мелким подразделам и распространяется по подписке. В «Реферативном журнале ВИНТИ» помещают вторичные документы трёх видов: рефераты, аннотации и библиографические описания.

В реферате лаконично излагают цели, задачи, используемые методы, основные теоретические предпосылки и достигнутые результаты реферируемой работы с приведением необходимых формул, графиков и цифровых данных. В конце реферата указывают число иллюстраций, таблиц и библиографических ссылок в реферируемой работе, место её выполнения и составителя реферата. Таким образом, хорошо составленный реферат в большинстве случаев избавляет пользователя от необходимости обращения к первоисточнику.

Аннотация в предельно сжатой форме (обычно не более 10–15 строк) сообщает о содержании и характере работы. Ее составляет, как правило, сам автор работы. Аннотации помогают лишь отобрать те первичные документы, которые могут заинтересовать пользователя, но не избавляют от необходимости обращения к первоисточникам.

Библиографическое описание (справка) содержит порядковый номер публикации в реферативном журнале, индекс Универсальной десятичной классификации (УДК), авторов и название работы, издательство, год издания,

количество страниц. Для работ на иностранных языках в начале описания (после оригинального названия) приводится перевод названия на русский язык, а в конце – указание на язык оригинала.

Таким образом, в реферативных журналах по наиболее важным работам приводятся рефераты, по менее важным – аннотации, а по работам, которые могут представлять интерес лишь для небольшого числа пользователей, – только библиографические описания. Следовательно, реферативный журнал выполняет две основные функции:

- 1) является средством распространения информации о новых достижениях науки и техники;
- 2) служит информационно-поисковой системой, позволяющей вручную производить поиск информации (первичных документов) по определённым вопросам.

Ценность «Реферативного журнала ВИНИТИ» определяется полнотой охвата первичных источников, которые используются для его подготовки. Сюда, прежде всего, входят все отечественные издания: книги, журналы, сборники научных трудов, вестники Академии наук и высших учебных заведений, материалы научно-технических конференций, конгрессов, симпозиумов, патентные описания, справочники, энциклопедии, словари и т. д. Кроме того, в нём отражены первоисточники, поступающие в ВИНИТИ более чем из 100 зарубежных стран, включая монографии, научно-технические журналы и патентные описания. При этом, конечно, производят анализ научной ценности первичных источников (особенно периодической литературы) и для реферирования отбирают наиболее ценные. Но даже с учётом такого отбора объём информации, отражаемой в реферативном журнале, огромен. Это приводит к существенным задержкам отражаемой информации по сравнению с первоисточниками. Для отечественных изданий такая задержка составляет от 4 месяцев до 1 года, а для иностранных – от 2 до 3 лет.

Таким образом, обе свои функции реферативный журнал выполняет недостаточно эффективно: первую – из-за недостаточной оперативности представления материала (особенно по иностранным источникам), а вторую – из-за высокой трудоёмкости поиска, особенно, если его необходимо провести за последние 10–15 лет.

Поэтому кроме «Реферативного журнала ВИНИТИ» отраслевые институты научно-технической информации издают многочисленные реферативные сборники. Ряд из них издают в виде реферативных карточек, что очень

удобно для пользователей, которые могут составить из них личные картотеки, отбирая в них только те, которые представляют для них интерес. Кроме того, реферативные сборники имеют более детализированную тематическую классификацию, чем реферативный журнал, что также облегчает поиск необходимой информации.

Поскольку в настоящее время все центральные институты научно-технической информации оснащены автоматизированными информационно-поисковыми системами, на основе электронных банков данных и ЭВМ, то помимо регулярно выпускаемых тематических реферативных сборников они выполняют информационный поиск по любым темам по индивидуальным запросам и составляют по результатам такого поиска тематические подборки реферативных карточек, высылаемые клиентам. По желанию клиента такие подборки могут производиться с любой желаемой глубиной поиска разово и в последующем дополняться в течение года (срок подписки) последующими поступлениями.

Для повышения оперативности и облегчения распространения научно-технической информации, содержащейся в зарубежных источниках научно-технической информации (главным образом журнальных статей и патентных описаний), центральные и отраслевые институты научно-технической информации регулярно издают выпуски экспресс-информации по определённым тематическим направлениям, содержащие полные или сокращённые переводы этих материалов. Запаздывание экспресс-информации по отношению к первоисточникам, как правило, не превышает полугода. При этом институт, выпускающий экспресс-информацию, производит довольно жёсткий отбор первичных материалов, поэтому в эти выпуски попадают лишь наиболее важные и интересные для широкого круга пользователей материалы. Несомненным достоинством экспресс-информации являются перевод на русский язык зарубежных источников и достаточная подробность приводимых материалов, позволяющая исключить необходимость обращения к первичному документу, а также высокая оперативность и предварительный отбор представляемых материалов по степени важности, что уменьшает трудоёмкость поиска нужной информации. Однако последнее достоинство часто становится недостатком, поскольку в выпусках «Экспресс-информации» находит отражение лишь ничтожная часть первоисточников и, значит, полнота информационного поиска по любой теме, проведённого только по выпускам «Экспресс-информации», является неудовлетворительной. Поэтому информаци-

онный поиск по выпускам «Экспресс-информации» может играть только дополнительную роль.

Библиографические издания, каталоги и картотеки

Библиографические указатели являются изданиями книжного или журнального типа, содержащими библиографические описания опубликованных документов и изданий. В зависимости от принципа расположения библиографических описаний указатели подразделяют на систематические (описания располагают по областям знаний в соответствии с той или иной системой классификации) и предметные (описания располагают в порядке перечисления важнейших предметов, в соответствии с предметными рубриками, расположенными в алфавитном порядке). По содержанию и виду отражаемых литературных источников библиографические указатели подразделяют на общие и специальные.

Среди общих библиографических указателей, выпускаемых в нашей стране, наиболее важное место занимают «Книжная летопись», «Летопись журнальных статей», «Летопись газетных статей» и «Книжное обозрение».

«Книжную летопись» выпускают ежедневно, в ней сообщают о всех выпущенных в нашей стране книгах, брошюрах, стандартах и других отдельно издаваемых материалах, включая авторефераты диссертаций. Все сведения, опубликованные в выпусках «Книжной летописи» за год, обобщают в сводном томе «Ежегодник книги», издаваемом ежегодно.

Сведения о книгах, представляющих интерес для массового читателя, публикуют также в еженедельнике «Книжное обозрение», распространяемом по подписке.

Сведения обо всех выпускаемых периодических и продолжающихся изданиях (журналах, газетах, бюллетенях и т. п.) приводят в «Летописи периодических изданий», выпускаемой один раз в 5 лет и дополняемой ежегодными сокращёнными выпусками, в которых сообщается о новых газетах и журналах, переименованных изданиях и приводятся сведения о переставших выходить периодических и продолжающихся изданиях.

Сведения о журнальных статьях, независимо от профиля журнала, публикуют в «Летописи журнальных статей», а о газетных статьях – в «Летописи газетных статей», выпуски которых выходят еженедельно.

Много общего с библиографическими указателями имеют библиотечные каталоги и картотеки. Библиотечный каталог – это указатель имеющейся

в данной библиотеке литературы. Каталоги разделяют по способу группировки библиографических описаний на алфавитные, систематические и предметные.

В алфавитном каталоге библиографические описания источников, независимо от их содержания, располагают в алфавитном порядке либо фамилий авторов, либо заглавий произведений, если число авторов произведения больше трёх или авторы вообще не указаны (что характерно для различных сборников, стандартов и других официальных документов).

По алфавитным каталогам можно получить ответы на следующие вопросы:

имеется ли в данной библиотеке определённое произведение, автор и заглавие которого известны;

какие произведения данного автора, вышедшие в виде отдельных изданий, имеются в данной библиотеке?

В систематическом каталоге описания имеющихся в библиотеке изданий группируют по отраслям знания. При этом используют многоуровневую классификацию, т. е. по каждой отрасли материалы группируют по классам, каждый класс – по подклассам и т. д. Структура систематического каталога определяется применяемой в данной библиотеке системой библиотечно-библиографической классификации.

При помощи систематического каталога можно установить, какие издания по данному вопросу имеются в данной библиотеке. Однако если этот вопрос достаточно узок, а его формулировка не совпадает с имеющимися в систематическом каталоге предметными рубриками, то определение нужного подразделения классификации является не очень простой задачей, особенно для неспециалиста в данной области знаний. Для облегчения этой задачи к систематическому каталогу составляют алфавитно-предметный указатель или помимо систематического каталога составляют предметный каталог. В них в алфавитном порядке приводят все рубрики систематического каталога, по которым в данной библиотеке имеется литература. Кроме того, в них могут входить рубрики, отсутствующие в систематическом каталоге (более детализированные), а также синонимы тех терминов, которые употребляются в рубриках систематического каталога. Предметные рубрики в предметном каталоге могут быть простыми и сложными. Сложной предметной рубрикой является такая, которая объединяет в себе несколько простых. Предметные каталоги особенно удобны для отражения литературы по прикладным наукам.

Поэтому они распространены главным образом в специальных библиотеках. Массовые же библиотеки вообще не составляют предметных каталогов.

По форме выполнения каталоги бывают карточными и книжными. Наиболее удобным и широко применяемым является карточный каталог, в котором каждый литературный источник отражается стандартной карточкой, содержащей его библиографическое описание. Главным достоинством карточного каталога является возможность включения новых описаний без нарушения принятого порядка расстановки в каталоге. Его недостатками являются громоздкость и быстрое изнашивание. Книжные каталоги более компактны и удобны в работе, но их приходится регулярно обновлять по мере новых поступлений в библиотечный фонд. По своей форме они близки к библиографическим указателям.

В настоящее время каталожные карточки на вновь публикуемую литературу издаются централизованно: на отечественные книги и журнальные статьи – Российской книжной палатой; на зарубежные книги и журнальные статьи по естественным наукам – Государственной библиотекой иностранной литературы; по технике – Государственной публичной научно-технической библиотекой. Это существенно облегчает составление и ведение карточных каталогов в библиотеках.

Вторичные непубликуемые документы

Вторичные непубликуемые документы включают регистрационные и информационные карты НИР и ОКР, учётные карточки диссертаций, указатели депонированных рукописей и переводов, информационные сообщения. К ним также относят непубликуемые вторичные документы, которые рассылают только по подписке (сборники рефератов НИР и ОКР, реферативные подборки, выполняемые по заявкам пользователей по определённым темам, заказные обзорные справки и т. п.)

Среди вторичных непубликуемых документов в последнее время всё большее значение приобретает сигнальная информация. Она представляет собой избирательно адресуемую вторичную информацию о новых поступлениях по интересующим пользователя темам, которая составляется органами научно-технической информации по согласованным с пользователями тем и адресно рассылается им. Запоздывание сигнальной информации минимально (1–1,5 месяца), а составляют ее с помощью автоматизированных информационно-поисковых систем.

Библиотечно-библиографическая классификация

Традиционным средством упорядочения и систематизации документальных фондов является библиотечно-библиографическая классификация (ББК). История библиотечно-библиографической классификации восходит к глубокой древности, что вполне естественно, так как потребность в такой классификации возникла одновременно с формированием обширных хранилищ письменных документов – первых библиотек. Об этих древних классификациях сохранились лишь отрывочные сведения, но то, что они были довольно детально разработаны, несомненно. В средние века с появлением в Европе первых университетов наибольшее распространение получили «факультетские» системы классификаций, в основу которых положена традиционная структура университетов того времени, состоящих из четырёх факультетов: философского, медицинского, юридического и богословского. Эти классификации сохраняли свои позиции вплоть до XIX века.

В XIX веке в библиотеках Западной Европы широко применялись классификации Ж. Ш. Брюне и А. Э. Шлейермахера, в России – Н. Г. Демидова, К. К. Фойгта и К. Э. Бэра, в США – родоначальника современной десятичной системы классификаций М. Дьюи, а с начала XX века – классификация библиотеки конгресса США.

Универсальная десятичная классификация

Современная Универсальная десятичная классификация (УДК) была предложена специально образованным Международным библиографическим институтом в Брюсселе и издана в 1905 году. К середине XX века она получила всеобщее признание и получила распространение во многих странах мира. В её основу были положены принципы десятичной классификации Дьюи, но отличалась она от последней более детальной проработкой подразделов. В СССР УДК начала распространяться лишь в 60-е годы, когда были изданы русские переводы таблиц УДК.

УДК характеризуется следующими отличительными чертами:

охватом всех отраслей знания (полные таблицы УДК содержат свыше 100 тысяч рубрик);

применением десятичного принципа деления, дающего возможность производить неограниченное деление подклассов без нарушения основной структуры классов, что обеспечивает возможность неограниченного дальнейшего развития и детализации системы;

использованием только цифровых индексов, обозначаемых арабскими цифрами, общепринятыми во всём мире;

наличием развитой системы определителей;

применением принципа комбинационного построения индексов.

Основным достоинством системы УДК по сравнению с предыдущими системами является наличие развитой системы определителей. Если все предыдущие системы сводились к перечислительным схемам с заранее установленными рубриками и готовыми индексами для каждой рубрики, то в УДК осуществлена подвижная схема, в которой нужные рубрики создаются в процессе классификации путём сочетания индекса с определителем или соединения нескольких индексов друг с другом.

В УДК используются общие и специальные определители. К общим определителям относятся: определитель языка, на котором написан документ, определители формы документа (книга, статья, патентное описание и др.) и т. п. Общие определители используются во всех классах УДК с одним и тем же значением. Специальные определители предназначены только для использования в нескольких смежных отделах одной отрасли знания.

УДК состоит из основной и вспомогательных таблиц. Основная таблица содержит понятия и соответствующие им индексы, систематизирующие все отрасли знания. Первый ряд основной таблицы делит все отрасли знания на 10 отделов:

0 – общий отдел. Наука. Организация. Умственная деятельность. Знаки и символы. Документы и публикации;

1 – философия;

2 – религия;

3 – экономика. Труд. Право;

4 – свободен с 1961 г.;

5 – математика. Естественные науки;

6 – прикладные науки. Медицина. Техника;

7 – искусство. Прикладное искусство. Фотография. Музыка;

8 – языкознание. Филология. Художественная литература. Литературоведение;

9 – краеведение. География. Биографии. История.

Каждый из этих отделов, в свою очередь, разделён на 10 разделов; каждый раздел – на 10 подразделов и т. д. Для удобства чтения индекса после каждых трёх десятичных цифр индекса (начиная со старшей, т. е. слева) ставится точка.

Таким образом, детализация понятий в УДК осуществляется за счёт удлинения индексов. При этом каждая последующая, присоединяемая к индексу цифра не меняет значения и смысла предыдущих, а лишь уточняет и детализирует их, обозначая более узкое понятие, т. е. цифры, составляющие индекс, в УДК располагаются слева направо по принципу от общего к частному в пределах одного отдела.

В основной таблице кроме основных индексов приведены специальные определители, отражающие признаки и свойства, характерные для тех понятий, которые содержатся в данном разделе. Специальные определители присоединяются к основным индексам при помощи символов: дефис (-) и точка – нуль (.0).

Дефис (-) служит для присоединения определителей, обозначающих элементы, составные части, свойства и другие признаки предметов, отражаемых основным индексом УДК. Например, в разделе 62 (Инженерное дело. Техника) через дефис можно присоединить следующие специальные определители:

- 62-1 Общая характеристика машин, аппаратов и установок.
- 62-2 Подвижные и неподвижные детали машин, аппаратов и установок.
- 62-3 Детали распределительных механизмов. Приводы распределительных механизмов.
- 62-4 Состояние (агрегатное) материала, состояние поверхности, форма и конфигурация предметов.
- 62-5 Работа машин, установок, аппаратов. Регулирование и управление.
- 62-6 Характеристика двигателей по виду топлива.
- 62-7 Обслуживание машин, аппаратов и установок. Уход за ними.
- 62-8 Характеристика машин, аппаратов и установок по виду привода, по роду используемой энергии.

Символ точка – нуль (.0) отражает аспект распространения, деятельность, процессы, операции, оборудование и т. д. Например, в разделе 621.3 «Электротехника» с помощью разделителя «точка – нуль» могут присоединяться следующие специальные определители:

- Теория и основные понятия.
- Виды и диапазоны токов, мощностей, напряжений, сопротивлений и частот.
- Снабжение электроэнергией в специальных цепях. Части и детали электрических машин и электронных ламп, электронно-лучевых и газоразрядных

трубок, электрохимического оборудования и аппаратуры, электронного оборудования и электрических цепей.

Детали, изоляция и обмотки электрических машин, трансформаторов и аппаратов. Монтаж схем.

Передача электроэнергии. Системы передачи. Сооружение сетей.

Соединение и коммутация электрических цепей. Включение и отключение.

Электрическое регулирование.

Теория и методы электрических измерений. Конструктивные элементы и узлы электроизмерительных приборов.

Характеристики передач.

Во вспомогательной таблице УДК содержатся общие определители, отражающие признаки, по которым документы могут классифицироваться во всех отраслях знаний. Они применимы во всех отделах УДК. Эти определители присоединяются к основному индексу УДК с помощью следующих знаков:

«Равенство» = – определитель языка, на котором написан документ (например, = 30 – на немецком языке);

«Скобки – нуль» (0) – определитель формы и характера материала, излагаемого в документе, например, (083.57) – нормативы;

«Скобки» () – определитель страны или места, о котором идёт речь в документе (в скобках указывается цифровой шифр страны);

«Скобки – равенство» (=) – определитель рас и народов, например, (= 927) – арабы;

«Кавычки» “ ” – определитель времени, например, “1997.05.10” – 10 мая 1997 года;

«Точка – нуль – нуль» .00 – определитель точки зрения, аспекта рассмотрения (например, .003 – экономический аспект).

Для более полного отражения содержания классифицируемого документа в УДК наряду с основными индексами и определителями применяется соединение нескольких индексов посредством определённых знаков, приведённых ниже:

«Присоединение» (+) – этот знак применяется в тех случаях, когда в документе рассматривается несколько самостоятельных вопросов, неподчинённых друг другу;

«Распространение» (/) – служит для замены индексов, отражающих близкие по значению вопросы, которые последовательно расположены в таб-

лице основных индексов, т. е. этот знак заменяет перечисление этих индексов и имеет смысл «от до», где в числителе указывается индекс, от которого начинается перечисление, а в знаменателе – индекс, которым заканчивается перечисление;

«Отношение» (:) – позволяет классифицировать документы, излагающие несколько вопросов, между которыми имеется внутренняя связь;

«Объединение» (‘) – употребляется для создания комплексных понятий посредством слияния (синтеза) составляющих элементов и используется в химии, химической технологии, металлургии и некоторых других разделах УДК для определения химических соединений нескольких элементов, сплавов, минералов и горных пород и т. п.

Поскольку соединение нескольких индексов и применение определителей осуществляется самим автором документа или систематизатором, то таблицы УДК не предусматривают определённого порядка расположения различных видов индексов. Однако при использовании составных индексов рекомендуется вначале использовать общие определители, что позволяет получить индексы по каждому вопросу, отражённому в документе, и лишь потом использовать те или иные знаки для соединения этих индексов.

Для облегчения пользования таблицами УДК она снабжена алфавитно-предметным указателем. Установив основное содержание документа, можно по алфавитно-предметному указателю определить соответствующий подраздел (или подразделы) УДК и затем, обратившись непосредственно к таблицам, выбрать подходящую рубрику (или рубрики, если в документе затрагивается несколько разных вопросов) и записать соответствующие им индексы. После этого можно дополнить их общими или специальными определителями, а затем с помощью соответствующих знаков (присоединения, распространения, отношения или объединения) соединить полученные индексы в один составной индекс, наиболее адекватно отражающий содержание документа.

Конечно, даже наиболее подробный индекс УДК не может заменить аннотацию, поскольку, во-первых, не может отражать всех аспектов содержания документа, а во-вторых, для его расшифровки приходится пользоваться таблицами УДК. Основное назначение УДК состоит в том, что на её основе составляются систематические каталоги библиотек, что даёт возможность целенаправленного поиска необходимой информации всем читателям библиотек. Эффективность такого поиска будет зависеть от того, насколько правильно

и подробно составлены индексы УДК для всего библиотечного фонда и насколько детально рубрики систематического каталога соответствуют рубрикам таблиц УДК (обычно рубрики систематического каталога существенно менее подробны, чем рубрики УДК). Поэтому правильное определение индексов УДК для вновь создаваемых документов является достаточно ответственной задачей, которую приходится выполнять чаще всего не библиографам, а авторам данного документа. А поскольку индексы УДК в настоящее время должны присваиваться не только публикуемым документам (книгам, статьям, докладам), но и непубликуемым (научно-технические отчёты, диссертации, депонируемые рукописи и др.), то очевидно, что уметь правильно определить индекс УДК в соответствии с содержанием того или иного документа должен каждый научный и инженерно-технический работник.

Российская библиотечно-библиографическая классификация

В СССР Универсальную десятичную классификацию начали применять лишь с 1963 г., да и то лишь для публикаций и других документов в области естественных и прикладных наук (отделы 0; 5; 6 и 7 УДК). До этого, а в области философии, общественных наук, экономики, филологии, истории, художественной литературы и до настоящего времени используется Библиотечно-библиографическая классификация (ББК), в том или ином виде применявшаяся в СССР с 1938 г. и окончательно доработанная в 1960 г. В ней применяется буквенно-цифровая система индексов с использованием различных знаков препинания в качестве соединительных символов. Буквы русского алфавита (используется 28 букв, исключая ё, й, ь, ъ,) позволяют образовать не 10, а 28 отделов, каждый отдел может подразделяться на 100 разделов, обозначаемых десятичными числами от 00 до 99, а далее, как в УДК, каждый раздел делится на 10 подразделов и т. д. Таким образом, структура ББК является более сложной по сравнению с УДК, но не дает заметных преимуществ. В основном её разработка и введение диктовались идеологическими соображениями, что нашло отражение в том, что её первый отдел, индексируемый буквой А, назывался «марксизм-ленинизм», целый его раздел А1 отдавался произведениям классиков марксизма-ленинизма, другой его раздел А3 – жизни и деятельности Маркса, Энгельса и Ленина и т. п.

В настоящее время в связи с интенсивной интеграцией науки, производства, культуры и искусства, происходящей во всём мире быстрой интенсификацией международного обмена информацией, распространением гло-

бальных электронных вычислительных сетей, использование в России не отвечающей международным стандартам системы библиотечно-библиографической классификации (ББК) представляется неоправданным, тем более что по сравнению с принятой во всём мире Универсальной десятичной системой классификации (УДК) она не обладает существенными преимуществами. Ещё более неоправданным представляется параллельное использование этих двух систем классификации. Поэтому следует ожидать, что в скором времени в России произойдёт полный переход на систему УДК не только по естественным и прикладным отраслям знаний, как это имеет место в настоящее время, но и по всем остальным областям информации.

Патентная классификация

Основным средством организации и поиска информации в мировом патентном фонде являются системы классификации изобретений. Вначале во всех странах использовались свои национальные классификации изобретений (НКИ). В некоторых странах ими пользуются до сих пор. Однако развитие международных связей и международного патентного законодательства привело к необходимости создания единой международной патентной классификации (МПК). МПК, так же как и другие документные классификации, построена по иерархическому принципу от общего к частному. Она создавалась по решению Европейской конвенции по патентному праву в 1954 г. С тех пор она периодически пересматривается, расширяется и дополняется с учётом непрерывного развития науки и техники, и каждые пять лет издаётся новая редакция МПК. Ведёт эту работу международное бюро Всемирной организации интеллектуальной собственности (ВОИС). В нашей стране МПК была введена взамен НКИ в 1970 г.

Все сферы техники в МПК подразделяют на разделы, классы, подклассы, группы и подгруппы.

Первый классификационный ряд состоит из восьми разделов, обозначаемых латинскими прописными буквами от А до Н. Каждый раздел подразделяют на классы, обозначаемые стоящим после индекса раздела двухзначным десятичным числом (т. е. раздел может содержать 99 классов). Каждый класс делят на подклассы, обозначаемые прописной латинской буквой, а каждый подкласс разбивают на рубрики, среди которых различают группы (главные рубрики) и подгруппы. Индекс группы может обозначаться одно-, двух- или трёхразрядным числом, после которого следует косая черта. Подгруппы

образуют рубрики, подчинённые основной группе, и обозначают двух- или трёхразрядным числом, стоящим после косой черты в обозначении соответствующей группы.

МПК имеет справочно-поисковый аппарат, включающий различные указатели и таблицы соответствия с наиболее распространёнными НКИ. Важнейшими из этих указателей являются:

указатель классов изобретений (УКИ), включающий перечень всех разделов, классов, подклассов и рубрик с указанием их подчинённости;

алфавитно-предметный указатель, включающий перечень ключевых понятий (терминов), расположенных в алфавитном порядке и отнесённых к ним индексов системы классификации;

указатели библиографических данных о патентных документах, включая: нумерационный (описания изобретений, упорядоченных по номерам документов); систематический (описания, упорядоченные по индексам МПК); именной (описания, упорядоченные по именам заявителей или патентовладельцев); указатель патентов-аналогов (т. е. патентов, выданных в разных странах на одно и то же изобретение);

таблицы соответствия индексов МПК и различных национальных систем классификации изобретений. Эти таблицы необходимы для установления аналогичных рубрик в различных национальных классификациях. Обычно используются таблицы соответствия МПК и национальных систем классификации (НКИ).

Методика информационного поиска

Цели и задачи информационного поиска

Информационный поиск проводится практически на всех этапах научно-исследовательских работ и технических разработок. Однако цели и задачи информационного поиска на разных этапах НИР и ОКР различны. Различаются и методики проведения такого поиска на разных этапах. Так, на начальном этапе НИР и ОКР основной целью информационного поиска является ознакомление с современным состоянием той узкой области науки или техники, в которой предполагается вести исследования, а также более глубокое изучение теоретических основ данной области науки, анализ существующих в этой области проблем, оценка актуальности предполагаемых исследований и разработок и перспективности различных направлений их проведения.

На этапе планирования и технической подготовки к проведению исследований цель информационного поиска смещается в сторону изучения возможных методов проведения исследований, как теоретических, так и экспериментальных, ознакомления с техникой эксперимента, необходимой измерительной аппаратурой и методами математической обработки экспериментальной информации.

На этапе построения математической модели исследуемого объекта основная цель информационного поиска состоит в углублённом изучении теоретических основ исследуемых явлений и объектов и подборе наиболее адекватного математического аппарата для описания изучаемых явлений, его освоения и выбора наиболее подходящего вида математической модели.

При проведении ОКР по разработке новых технических объектов или технологий цели и задачи информационного поиска существенно отличаются от изложенных выше, но, так же как и в первом случае, различны на различных этапах проведения ОКР.

При проведении предпроектных изысканий основной целью информационного поиска является получение исчерпывающей информации о лучших мировых достижениях в данной узкой области техники и технологии (в том числе конкретные сведения о лучших мировых образцах), выявление наиболее перспективных направлений дальнейшего развития данной узкой области техники, включая возможные нетрадиционные альтернативные направления, а также проведение маркетинговых исследований по изучению рынка сбыта будущей продукции, состояния конъюнктуры и прогнозирования их будущего состояния. Помимо этого, на данном этапе проводят общесистемные исследования по совершенствованию самих методов разработки и проектирования в данной области техники, включая современные информационные технологии проектирования (САПР, экспертные системы и т. п.), что требует ознакомления с передовыми достижениями в этой области.

На первом этапе проектирования основная цель информационного обеспечения состоит в поиске аналогов технических решений и выборе наиболее перспективного концептуального решения поставленной технической задачи. Для этого проводят патентные изыскания и обзоры научно-технических периодических изданий по данной области техники и в смежных областях.

И, наконец, на заключительном этапе проектирования основная цель информационного обеспечения состоит в определении технического уровня

разработанного объекта и его патентной чистоты. Для этого необходима полная информация о технических и эксплуатационных характеристиках лучших мировых образцов техники аналогичного назначения и более детальные патентные исследования, удостоверяющие патентную чистоту использованных технических решений.

Как видно из сказанного, при проведении ОКР важную роль играют патентные изыскания. Причём на разных стадиях проектирования задачи патентных изысканий различны. На предпроектной стадии они помогают составить общее представление о современном состоянии данной узкой области техники и путях её дальнейшего развития. На ранних этапах проектирования они позволяют проводить отбор аналогов основных технических решений, а если эти решения выполняются на уровне изобретений, то патентные изыскания должны удостоверить их новизну. И, наконец, на заключительном этапе проектирования патентные изыскания должны доказать патентную чистоту спроектированного объекта, чтобы при его производстве не возникало судебных исков со стороны патентодержателей тех запатентованных решений, которые были использованы в данном объекте.

Методика информационного поиска при проведении научных исследований

При изложении данного вопроса мы будем ориентироваться главным образом на проведение прикладных научных исследований, поскольку информационное обеспечение фундаментальных и прикладных исследований имеет свою специфику.

Будем рассматривать случай, когда исследователь впервые сталкивается с этой научно-технической проблемой. Такой случай характерен при проведении НИР студентами, магистрантами и аспирантами, для которых и предназначен данный учебник.

Первой задачей информационного поиска является обновление и углубление теоретических знаний исследователя в той области науки и техники, к которой относится решаемая проблема. Для этого лучше всего начинать с учебников по соответствующим областям знаний, поскольку в них эти сведения изложены наиболее систематично, доступно и методически грамотно. Однако в учебниках излагаются лишь наиболее общие и устоявшиеся сведения, а интересующая исследователя проблема может затрагиваться лишь поверхностно или совсем не затрагиваться. Поэтому для детального изучения

проблемы необходимо ознакомиться с основными монографиями по этому вопросу. При отборе монографий для изучения необходимо сначала детально проанализировать их содержание, внимательно прочесть аннотацию, предисловие и введение, в которых обычно в краткой форме излагаются назначение данной книги, затрагиваемые в ней проблемы и подходы авторов к их решению. Отобрав нужные монографии, следует вначале бегло ознакомиться с ними, чтобы получить представление о затрагиваемых в них вопросах и подходах к их решению, а затем детально проработать те вопросы, которые непосредственно касаются заданной проблемы, выписывая в тетрадь наиболее важные положения и собственные соображения по использованию их в своей работе. В каждой монографии содержится обширная библиография, что позволяет легко отыскать первоисточники по каждому интересующему вопросу.

Изучение монографий, относящихся к теме исследования, является трудоёмким, но совершенно необходимым этапом исследований, так как не получив необходимый запас теоретических знаний в данной области прикладной науки, чётких представлений о её современном состоянии, уже решённых и ещё не решённых проблемах, невозможно приступить к самостоятельным исследованиям в этой области.

Однако следует иметь в виду, что даже новейшие монографии содержат материалы двух-, трёхлетней давности, а если это переводная книга, то запаздывание составляет не менее пяти лет. Кроме того, далеко не всегда удастся подобрать монографии по достаточно узким вопросам, которые могут интересовать исследователя. Поэтому в дополнение к монографиям необходимо просмотреть научную периодику (журналы, продолжающиеся издания и др.), а также опубликованные материалы научно-технических конференций по тематике, близкой к исследуемой проблеме, хотя бы за последние три года. Это очень обширные материалы и, если просматривать все подряд, то затраты времени будут непомерно велики. Поэтому при отборе источников необходимо использовать вторичные издания (тематические реферативные сборники, аналитические обзоры, аналитические библиографические справки, обзорные статьи в ведущих научных журналах и др.). Эффективное использование вторичных источников позволяет экономить много времени и сил, однако следует учитывать, что и она запаздывает от полугода до года. Поэтому, если необходимо ознакомиться с самыми последними опубликованными результатами в данной области, имеет смысл просмотреть за последние полгода или

год научную периодику по данному направлению. Это всё же сделать значительно легче, чем проводить по ней поиск за 5–10 лет.

Поскольку на начальной стадии исследования ещё трудно судить, какие именно из найденных материалов могут быть непосредственно использованы в дальнейшей работе, необходимо по всем просмотренным источникам составлять краткие карточки, в которых обязательно фиксировать библиографические сведения о просмотренном источнике и кратко выписывать те сведения, которые в дальнейшем могут представлять интерес. Такая картотека поможет легко ориентироваться в том обычно весьма большом объёме сведений, которые были почерпнуты из просмотренных источников, облегчит их систематизацию и обобщение, что всегда необходимо при составлении аналитического обзора (который является необходимой составной частью любого исследования). Не следует делать эти карточки слишком подробными, так как, во-первых, это приведёт к дополнительным затратам времени, во-вторых, существенно ухудшит обзорность картотеки, а следовательно, затруднит дальнейшую работу с ней, и в-третьих, при необходимости повторного обращения к данному источнику карточка всё равно не сможет заменить сам источник, а значит, и нет смысла делать её слишком обширной.

Работая в каком-то определённом научном направлении, исследователь, как правило, старается следить за появлением новых монографий в интересующей его области науки и просматривает вновь поступающую периодику. Это позволяет ему постоянно быть в курсе новейших результатов в интересующей его области. Поэтому ведение своей картотеки помогает не только на высоком уровне выполнить какое-то конкретное исследование, но и облегчает его работу над последующими темами (если, конечно, они лежат в той же области науки, что, как правило, имеет место).

Кроме картотек по просмотренным источникам полезно вести картотеку непросмотренных источников, которые могут представлять интерес, но на просмотр которых либо не хватило времени, либо не были найдены сами источники, а сведения о них почерпнуты из вторичных источников. В этих карточках содержатся только библиографические данные об источниках. Ведение таких картотек существенно облегчается тем, что такие карточки издаются централизованно и их можно получать по подписке по любой отрасли знаний. Помимо библиографических карточек (которые используются в библиотеках для формирования картотечных каталогов) межотраслевые и отраслевые учреждения научно-технической информации составляют и рассылают

по подписке реферативные карточки по любым заявленным научным направлениям. В этих карточках содержатся не только библиографические сведения о первоисточнике, но и краткий его реферат. Эти же информационные центры (при соответствующей оплате, конечно) могут выполнить и ретроспективный поиск информации по любому заданному направлению и выслать заказчику реферативные карточки по всем найденным источникам, в том числе и зарубежным. Эти услуги позволяют существенно экономить время исследователя и гарантируют полноту проведённого поиска. Однако при пользовании этими услугами следует иметь в виду два обстоятельства. Во-первых, вторичные источники, включая и реферативные карточки, ни в коем случае не могут заменить первичные. Они лишь помогают отобрать те из них, которые представляют наибольший интерес. А во-вторых, поскольку при поиске информации очень трудно ограничить рамки интересующей исследователя темы, то в результате такого автоматизированного поиска отобранных источников (в частном случае реферативных карточек) оказывается столь много, что для их систематизации и повторного отбора наиболее близких к теме исследований также требуется весьма значительное время. Поэтому к таким услугам целесообразно прибегать лишь в тех случаях, когда необходимо гарантировать полноту поиска.

Кроме опубликованных работ для исследователя большой интерес могут представлять и неопубликованные работы – диссертации и отчёты о выполненных НИР, поскольку именно в них содержатся наиболее подробные сведения о выполненных исследованиях. Сведения о них также можно почерпнуть из вторичных изданий, а сами первоисточники можно получить в виде ксеро- или микрокопий, послав заказ в те информационные центры, где хранятся их оригиналы. Особый интерес эти источники представляют для аспирантов и магистрантов, работающих над своими диссертациями.

Большую помощь в информационном поиске может оказать компьютерная сеть INTERNET. Однако ограничиваться только поиском информации в сети INTERNET нельзя. Во-первых, в ней практически отсутствуют научно-технические монографии. Они пока издаются традиционным путём. Во-вторых, далеко не все научно-технические журналы распространяют через INTERNET полные копии публикуемых материалов. Чаще там помещают только аннотации публикуемых статей. И, в-третьих, следует помнить, что многие помещаемые в INTERNET материалы не проходят никакого предварительного отбора и рецензирования (кроме INTERNET-журналов). Поэтому и достоверность этой информации может быть низкой.

Методика информационного поиска при проведении опытно-конструкторских работ

Задачи информационного поиска при проведении ОКР, как было уже сказано выше, существенно отличаются от соответствующих задач при проведении НИР, что приводит к существенным отличиям и в методике проведения поиска, и в источниках, по которым проводится поиск.

На стадии предпроектных работ таких задач три:

1) обеспечение маркетинговых исследований, включая изучение рынка сбыта будущей продукции, состояния конъюнктуры, прогнозирования их будущего состояния; оценка приемлемой цены будущих изделий;

2) оценка требований потребителей к продукции данного назначения, прогнозирование их дальнейшей эволюции, получение информации о лучших мировых достижениях в данной узкой области техники и технологии, выявление наиболее перспективных направлений дальнейшего развития данной узкой области техники или технологии, включая возможные нетрадиционные альтернативные направления; оценка желательных значений основных технических характеристик и технико-экономических показателей будущих изделий, обеспечивающих их конкурентоспособность (с учётом прогнозов дальнейшего развития рынка и конъюнктуры);

3) информационное обеспечение системных исследований, направленных на повышение эффективности разработки, проектирования и производства будущих изделий.

Для решения этих задач приходится проводить информационный поиск не столько среди научно-технических публикаций и непубликуемых источников, сколько среди экономических и социально-экономических источников. В этом и заключается основная трудность для технических разработчиков, которые, как правило, имеют научно-техническое образование. Конечно, в крупных исследовательских центрах и проектно-конструкторских организациях, а тем более в крупных фирмах, имеющих в своем составе не только научно-исследовательские и проектно-конструкторские подразделения, но и производственные мощности, отделы маркетинга и сбыта готовой продукции, эти задачи поручают соответствующим специалистам-профессионалам. Однако для вузов более характерен случай, когда и НИР, и ОКР выполняет небольшая группа исследователей (а для студенческих и аспирантских работ – один человек). Чаще всего в составе такой группы отсутствуют профессионалы-экономисты, и всю работу приходится выполнять научно-техническим ра-

ботникам. Но в любом случае такая работа должна быть выполнена достаточно профессионально, чтобы обеспечить конкурентоспособность будущих изделий. Даже при разработке новой военной техники, когда заказчиком всегда выступает государство и происходит жёсткая конкуренция на мировом рынке вооружений, такая работа тоже должна проводиться, но при этом ещё дополнительно должны учитываться требования национальной безопасности.

Естественно, что необходимые сведения экономического и социально-экономического характера из учебников и научных монографий не почерпнешь. Там излагаются лишь теоретические основы экономических и социально-экономических знаний, а не конкретные сведения по текущему состоянию рынка и конъюнктуры. Поэтому основными информационными источниками являются периодические издания экономической и социальной направленности (включая и газеты, как наиболее оперативные издания) и непубликуемые материалы (в том числе и распространяемые по компьютерной сети INTERNET). Среди этих изданий важное место занимают статистические бюллетени, являющиеся официальными изданиями государственных статистических органов, которые распространяются, в основном, по служебным каналам с периодичностью от одного месяца до одного года. В них отражаются статистические данные хозяйственной, социальной и демографической сторон развития общества как в масштабах отдельного региона, так и в масштабах всей страны. Именно на анализе и синтезе этой информации основываются различные прогнозы дальнейшего экономического и социального развития, публикуемые в различных периодических изданиях экономической и социальной направленности. Помимо этих изданий практически каждый отраслевой научно-технический журнал содержит рубрики, отражающие экономические стороны развития данной отрасли, включая и анализ состояния рынка, и прогнозы дальнейшего развития отрасли, и наиболее перспективные направления этого развития.

Для оценки технического уровня данной узкой области техники и технологии основными источниками информации являются ежегодно издаваемые каталоги промышленной продукции (по отраслям техники) и фирменные каталоги, а также рекламные материалы и проспекты торговых фирм и торгово-промышленных выставок. В них содержатся основные технические характеристики всех производимых изделий, а также некоторые экономические и эксплуатационные показатели. Более подробные сведения о новых изделиях техники можно почерпнуть из отраслевых научно-технических журналов, где,

как правило, публикуются статьи с кратким техническим описанием новых наиболее прогрессивных изделий. Однако исчерпывающие сведения о новых изделиях можно получить лишь из непубликуемых источников – технических описаний, инструкций по эксплуатации и проектной документации. Но доступ к этим источникам, особенно к проектной конструкторской документации, ограничен. В ряде случаев такая информация даже составляет коммерческую тайну фирмы-разработчика или производителя. Более того, ряд важных технических или технологических моментов может быть преднамеренно скрыт и не отражён в проектной документации, является ноу-хау, без знания которых производить данные изделия, даже имея официальную проектную документацию, невозможно.

Другим важным источником сведений о состоянии и возможных направлениях развития данной узкой области техники и технологии являются патентные материалы. Поскольку основным критерием для выдачи патента является новизна предлагаемого технического решения, а сам патент юридически закрепляет данное техническое решение как собственность патентообладателя, что является одним из важнейших видов интеллектуальной собственности, то каждый разработчик заинтересован экономически в патентовании всех новых решений, перспективных для последующего внедрения. Поэтому мировой патентный фонд отражает практически все новые технические решения, как уже реализованные, так и нереализованные. Правда, патентные материалы, как правило, не содержат количественных оценок основных технических показателей конечных изделий, реализующих данное техническое решение. Поэтому приходится сопоставлять технические показатели реально выпускаемых изделий с теми техническими решениями, которые в них заложены (если выпускаемое изделие содержит защищённые патентами технические решения, то эти сведения всегда известны и часто даже отражаются в рекламных материалах на данное изделие). Из такого сопоставления можно прогнозировать достижимые технические характеристики и для ещё не реализованных технических решений, поскольку в патентных материалах всегда достаточно чётко указываются преимущества патентуемого решения по сравнению с ранее известными.

Из непубликуемых документов наиболее важное значение для выявления перспективных направлений дальнейшего развития данной узкой области техники представляют научно-технические отчёты о выполненных НИР и ОКР. Важным достоинством этих источников является то, что помимо кон-

кретных сведений о проведённой разработке они содержат аналитический обзор и технико-экономическое обоснование данной разработки, где оценивается и современное состояние той области техники, к которой относится данная разработка, и перспективные направления её дальнейшего развития.

Следует, однако, отметить, что в условиях рыночной экономики отчётливо проявляется тенденция считать выполненные научно-технические отчёты объектами интеллектуальной собственности организаций-разработчиков и организаций, финансирующих эти работы. Это, конечно, затрудняет доступ к этим документам.

Учитывая сложность и трудоёмкость работ по информационному обеспечению предпроектных изысканий, закономерным в условиях рыночной экономики является появление коммерческих консалтинговых фирм, которые, специализируясь в какой-то области научно-технического развития, берутся выполнять эти работы на коммерческих началах.

Несколько особняком стоит информационное обеспечение третьей задачи – системных исследований, направленных на повышение эффективности разработки и проектирования будущих объектов. Надо сразу отметить, что в исследовательских и проектно-конструкторских организациях работа над этой задачей ведётся непрерывно, а не только на стадии предпроектных изысканий. Но в рассматриваемом случае, когда речь идёт о разработке какой-то конкретной темы, эта задача трансформируется в задачу информационного обеспечения технологии разработки и проектирования конкретного объекта. На современном этапе, в связи с широким внедрением в процессы проектирования компьютерных технологий, базирующихся на использовании математического моделирования и систем автоматизированного проектирования, данная задача сводится к поиску, приобретению и освоению соответствующих пакетов прикладных программ, реализующих эти технологии. Информация о таких программах публикуется в специализированных научно-технических журналах, а также в каталогах фирм-разработчиков программных продуктов.

Автоматизированные информационно-поисковые системы

Абстрактная информационно-поисковая система

При рассмотрении библиотечно-библиографических и патентных классификаций и библиотечных каталогов мы уже отмечали, что их основной функцией является облегчение поиска нужного документа в огромном масси-

ве хранимых документов. Причем поиск должен быть возможен как по библиографическим данным (своего рода индивидуальному опознавательному коду) данного документа, так и по запросу, отражающему смысловое содержание данного документа. Таким образом, основным назначением и классификаций, и каталогов является такая систематизация хранимых документов, которая облегчала бы проведение информационного поиска.

Информационный поиск – это некоторая последовательность операций, выполняемых с целью отыскания документов, содержащих определённую информацию, или с целью выдачи каких-то фактических данных, представляющих собой ответы на заданные вопросы.

Информационный поиск производится при помощи информационно-поисковых систем.

Информационно-поисковая система (ИПС) представляет собой совокупность взаимосвязанных языковых, логических и технических средств, предназначенных для систематизации и хранения информации, а также для проведения информационного поиска по запросам пользователя.

Как следует из этих определений, ИПС подразделяют на документальные и фактографические.

Документальные ИПС осуществляют систематизацию, хранение и поиск документов.

Фактографические ИПС предназначены для систематизации хранения и поиска по запросам нужных сведений (фактов).

Различают два основных типа информационно-поисковых задач:

1. Ретроспективный информационный поиск, т. е. отыскание письменных документов, в которых содержатся сведения по определённому вопросу. При ретроспективном поиске обычно определяется глубина поиска, которая указывает, за сколько последних лет должны просматриваться материалы. Она может составлять от 1 года до 50 лет, в зависимости от целей поиска и его предметной области.

2. Срочное оповещение абонентов ИПС о вновь поступивших на хранение публикациях и документах, представляющих для них потенциальный интерес. Данный тип информационного поиска осуществляет избирательное распределение информации по постоянным информационным запросам, которые сформулированы самим пользователем.

Абстрактная ИПС представляет собой совокупность информационно-поискового языка (с правилами перевода с естественного языка на информа-

ционно-поисковый язык и наоборот) и критерия смыслового соответствия между поисковыми образами документов и поисковыми предписаниями (представляющими собой перевод на информационно-поисковый язык информационных запросов).

Технические средства в понятие абстрактной ИПС не включают. Это могут быть и традиционные библиотечные средства (каталожные картотеки), специальные перфокарты или современные автоматизированные ИПС на базе мощных ЭВМ.

Важнейшей составной частью любой ИПС является информационно-поисковый язык (ИПЯ).

Информационно-поисковый язык представляет собой искусственный язык, предназначенный для выражения основного смыслового содержания документов и информационных запросов, сконструированный на основе естественного языка, но лишённый его многозначности.

Первичными информационно-поисковыми языками являлись библиотечно-библиографические классификации, а также патентные классификации. Эти классификации успешно действуют и по сей день, обеспечивая «ручные», т. е. неавтоматизированные методы информационного поиска. Поэтому каждому научному работнику и инженеру необходимо уметь ими пользоваться.

Правила перевода с естественного языка на информационно-поисковый (и наоборот) обычно задаются в виде двуязычного словаря и алгоритма его использования. Эти словари и правила позволяют для каждого вновь поступающего на хранение документа определить его поисковый образ, который отражает его смысловое содержание. Процедура составления поискового образа состоит из двух этапов: сначала на естественном языке составляется аннотация документа или реферат, а затем эта аннотация или реферат с помощью словаря и соответствующих правил переводится на информационно-поисковый язык.

При использовании библиотечно-библиографических классификаций оба эти этапа, как правило, выполняются авторами. Но если с первым этапом они могут справиться лучше любого другого человека, то второй этап требует хорошего владения используемой системой классификации, что не всегда реально выполняется. Из-за этого зачастую индексирование документов по системе классификации (УДК, ББК или МПК) производится недостаточно точно и детально, вследствие чего затрудняется их последующий поиск.

Аналогичным образом составляется поисковое предписание – выраженное в терминах информационно-поискового языка смысловое содержание информационного запроса.

Сопоставление поискового предписания с поисковыми образами хранимых документов и составляет суть процедуры информационного поиска. Отбор поисковых образов, соответствующих поисковому предписанию, должен удовлетворять критерию смыслового соответствия. Он выражается в виде набора правил, по которым определяется степень смысловой близости между поисковым образом документа и поисковым предписанием.

При «ручном» поиске по каталожной картотеке, которая составляется по принятой системе классификации (например, УДК), поисковыми образами документов являются их библиографические описания, приводимые в карточках (авторы, название, год и место издания и др.). А сами рубрики систематического каталога определены по принятой системе классификации. В этом случае и поисковое предписание, и критерий смыслового соответствия не формализованы и отбор производится достаточно субъективно. Однако первые же попытки автоматизации поиска показали непригодность существующих библиотечно-библиографических классификаций в качестве информационно-поисковых языков для автоматизации информационно-поисковых систем. Это и понятно, поскольку в таких системах названия документов уже не могли использоваться в качестве их поисковых образов. Единственным поисковым образом документа был индекс по принятой классификации.

Поисковое предписание тоже должно было выражаться через индексы классификации. А это приводило к тому, что в отобранную группу документов попадали все документы, относящиеся к тем рубрикам, которые содержались в поисковом предписании. Поэтому все эти рубрики всё равно приходилось просматривать вручную.

Таким образом, основным условием автоматизации информационного поиска была необходимость разработки специального информационно-поискового языка, пригодного для автоматизированных систем, и чёткая формализация критерия смыслового соответствия.

Информационно-поисковые языки и критерии смыслового соответствия

Информационно-поисковый язык, используемый в автоматизированных ИПС, должен удовлетворять следующим требованиям:

1. В нём должна быть полностью устранена семантическая неоднозначность словарного состава (лексики) того естественного языка, на основе которого он сконструирован. Следовательно, каждое понятие должно выражаться одним и только одним словом, и наоборот, каждое слово должно выражать одно и только одно понятие.

2. Грамматика ИПЯ должна быть построена строго формально, чтобы каждое выражение допускало только одно истолкование.

3. Из лексики и грамматики ИПЯ должны быть устранены все элементы, как-то связывающие сообщение с автором или адресатом (падежи, местоимения, предлоги, склонения и т. п.).

4. Должна обеспечиваться возможность формализации процедуры перевода с естественного языка на ИПЯ и наоборот, а также процедуры установления смыслового соответствия любых двух выражений на ИПЯ.

Наиболее полно этим требованиям соответствуют языки дескрипторного типа. Эти языки базируются на методе координатного индексирования документов. Метод координатного индексирования состоит в том, что основное смысловое содержание документа или информационного запроса может быть с достаточной степенью точности и полноты выражено определённым перечнем ключевых слов – дескрипторов, под которыми понимаются наиболее существенные для этой цели слова и словосочетания, обладающие назывной (номинативной) функцией.

Назывные слова занимают центральное место в лексике любого естественного языка, поэтому дескрипторный язык может быть построен на основе любого естественного языка, имеющего запас номинативных слов, достаточный для выражения любого понятия.

При «чистом» координатном индексировании ключевые слова, составляющие поисковый образ, никак не связаны между собой и функционируют самостоятельно.

В отличие от поисковых образов поисковые предписания формулируют в виде логически связанных дескрипторов, образующих логические суммы, произведения или дополнения тех классов, которые обозначены соответствующими дескрипторами. Следовательно, для отыскания документов, отвечающих, например, такому поисковому предписанию, которое сформулировано в виде логического произведения (конъюнкции) некоторого множества ключевых слов, необходимо выполнение условия, чтобы в его поисковом образе содержались все ключевые слова поискового предписания.

Если же поисковое предписание представляет собой логическую сумму ключевых слов, то отбираются все те документы, поисковые образы которых содержат хотя бы одно из ключевых слов поискового предписания.

Для формального описания поисковых предписаний и критериев смыслового соответствия используется математический аппарат теории множеств.

Пусть дано некоторое множество A документов, в котором должен производиться информационный поиск:

$$A = \{a_1, a_2, \dots, a_i\},$$

где a_i – отдельные документы.

Для выражения смыслового содержания всех этих документов используется некоторое множество T ключевых слов-дескрипторов:

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_i, \dots, t_m\},$$

где t_i – ключевые слова.

Для выражения смыслового содержания каждого из A документов через дескрипторы необходимо отобразить множество A через множество T . Обозначим операцию такого отображения через P . Поскольку множество T является словарем ИПЯ и содержит весь перечень ключевых слов данного языка, то очевидно, что для отображения любого конечного множества A может быть использовано какое-то подмножество $T_k \leq T^*$ ключевых слов (где $1 \leq k \leq m$), которые входят в явном или скрытом виде в тексты всех документов множества A . В результате такого отображения каждый из документов a_i будет отображаться своим подмножеством $T_{ij} \leq T_k$ ключевых слов:

$$P(a_i) = T_{ij} = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ij}\},$$

которое и будет являться поисковым образом документа a_i . Тогда их совокупность $P_a(T_k)$ и будет составлять весь массив поисковых образов, отображающих исходный массив A документов:

$$P_a(T_k) = \sum_{i=1}^n P(a_i) = \sum_{i=1}^n T_{ij}.$$

Каждый из поисковых образов должен удовлетворять следующим требованиям:

Знак \subseteq означает, что множество, стоящее слева от него, составляет часть или целое от множества, стоящего справа от него. Знак \subset означает, что множество слева является частью (но не целым) от множества справа.

Если из $\sum_{i=1}^n T_{ij}$ исключить все повторяющиеся в разных поисковых образах ключевые слова, то они и составят множество $T_k \leq T$.

$P(a_i)$ не должно содержать ни одного повторяющегося ключевого слова, т. е. среди $T_{ij} = \{t_{i1}, t_{i2}, \dots, t_{ij}\}$ не должно быть одинаковых ключевых слов.

$P(a_i)$ не должно содержать ни одного ключевого слова, которое бы не входило в множество T_k , т. е. в них не должно содержаться ключевых слов сверх минимально необходимых для отображения смыслового содержания данного множества документов A и тем более не должно содержаться ключевых слов, не входящих в лексический словарь данного информационно-поискового языка.

Таким образом, процедура составления поискового образа документа при «чистом» координатном индексировании может быть легко формализована: текст аннотации или реферата, отражающий основное смысловое содержание документа, сопоставляется со словарём дескрипторов данного языка, и из него выписываются все дескрипторы, соответствующие понятиям, используемым в этой аннотации или реферате.

Полученное подмножество ключевых слов и будет составлять поисковый образ данного документа. При этом порядок следования ключевых слов не имеет значения.

Точно так же легко может быть формализована и процедура информационного поиска по запросу Q , который отображается поисковым предписанием P_q через ключевые слова:

$$P_q = \{t_{q1}, t_{q2}, \dots, t_{qr}\}.$$

Если, например, поисковое предписание представляет собой логическое произведение данных ключевых слов:

$$P_q = \{t_{q1} \& t_{q2}, \dots, \& t_{qr}\},$$

то должны быть отображены только те поисковые образы, которые содержат все ключевые слова, перечисленные в поисковом предписании.

Однако описанное «чисто» координатное индексирование имеет ряд существенных недостатков, основным из которых является полное отсутствие указаний на смысловое взаимодействие и соподчинённость составляющих поисковый образ ключевых слов, в то время как в исходных текстах эти ключевые слова всегда находятся между собой в какой-то семантической (смысловой) связи. Это и определяет семантическую неадекватность полученных с помощью «чистого» координатного индексирования поисковых образов исходным текстам, что неизбежно будет приводить к снижению эффективности информационного поиска.

Для устранения этого недостатка для каждого дескриптора ИПЯ необходимо построить классификационное дерево, в котором были бы отражены родо-видовые связи этого дескриптора с другими дескрипторами данного ИПЯ.

Помимо отображения семантических связей между отдельными дескрипторами такая работа позволит окончательно устранить неоднозначность отдельных дескрипторов, исключить из словаря дескрипторов синонимы и омонимы, а также исключить дескрипторы, выражающие слишком широкие или слишком узкие понятия.

Совокупность таких классификационных деревьев вводится в тезаурус ИПЯ, под которым понимается двуязычный словарь, позволяющий осуществлять перевод с ИПЯ на естественный язык и обратно, т. е. приводится смысловое содержание каждого дескриптора.

Родо-видовые связи между отдельными дескрипторами должны учитываться при составлении поискового образа. Это означает, что последовательность дескрипторов в поисковом образе становится уже не безразличной, а должна отражать эти родо-видовые связи. При этом вначале перечисляются дескрипторы, отражающие более общие и ёмкие понятия, а затем уже уточняющие и детализирующие это понятие дескрипторы. Для уточнения семантических связей между дескрипторами поискового образа могут вводиться определённые синтаксические знаки и специальные указатели связи. Это, конечно, усложняет процедуру составления поискового образа, однако не делает невозможным её формализацию, а значит, автоматизацию её проведения. Более того, ЭВМ с этой процедурой справляется гораздо лучше, чем человек, благодаря их высокому быстродействию и ёмкой оперативной памяти, где легко размещаются и весь словарный состав данного дескрипторного языка, и все родо-видовые связи между отдельными дескрипторами.

Аналогичным образом выражается через дескрипторы и поисковое предписание: вначале следуют дескрипторы, определяющие более общие понятия, затем – более частные, детализирующие и конкретизирующие смысловое содержание информационного запроса. Это позволяет при информационном поиске не перебирать весь массив, а ограничиться лишь его сравнительно небольшой частью, определяемой общими ключевыми словами (аналогично тому, как это происходит в любой библиотечно-библиографической классификации).

Теперь коснёмся самого процесса сравнения поискового предписания с поисковыми образами документов. Этот процесс непосредственно связан с реализацией критериев смыслового соответствия. В автоматизированных ИПС этот критерий также должен быть чётко формализован. Простейшим случаем является требование полного совпадения поискового предписания с отбираемым поисковым образом. Именно в таком виде этот критерий реализуется при проведении информационного поиска с помощью систематического или алфавитно-предметного каталогов. Однако при таком поиске будут отобраны все документы, попавшие в данную предметную рубрику каталога. При ручном поиске пользователь проводит содержательную корректировку отобранных документов по их библиографическим описаниям, содержащимся на каталожных карточках. Однако для автоматизированной системы такая корректировка недоступна, поскольку её весьма сложно формализовать. Именно по этой причине и используются в таких системах дескрипторные языки. Но при их использовании полного совпадения поискового предписания с каким-то поисковым образом практически никогда не будет. Поэтому необходимо иметь возможность каким-то образом оценивать степень их частичного совпадения. Если эта степень совпадения будет выражена количественно, то тогда критерием отбора документа может быть просто число, соответствующее той минимальной степени совпадения поискового образа с поисковым предписанием, при достижении или превышении которого данный документ будет считаться соответствующим запросу. В простейшем виде данный критерий может быть представлен как отношение числа C дескрипторов данного поискового образа, совпадающих с дескрипторами поискового предписания, к общему числу P дескрипторов поискового образа:

$$C/P \geq R,$$

где R – назначенный порог отбора ($R \leq 1$).

Однако такой критерий является недостаточно эффективным, так как смысловая важность различных дескрипторов в поисковом образе различна. Это можно учесть с помощью весовых коэффициентов, которые ставятся в соответствие каждому дескриптору поискового предписания. Числовые значения весовых коэффициентов должен определять сам потребитель при формулировке информационного запроса, пользуясь при этом какой-то стандартной шкалой. В этом случае более важные для пользователя дескрипторы будут иметь больший весовой коэффициент, а менее важные – меньший.

Это существенно повышает эффективность поиска. Недостатком такой системы является то обстоятельство, что пользователь не может сам сформулировать поисковое предписание в виде перечня дескрипторов, так как не знает словаря данного ИПЯ и его синтаксиса. Он может сформулировать запрос лишь на естественном языке. Выход здесь состоит в применении диалоговых систем. Именно такие системы сейчас считаются наиболее перспективными. Это тесно смыкается и с общими направлениями развития информационных систем – создание широко разветвленных информационных сетей, к которым каждый пользователь может подключаться через свой персональный компьютер. В этом случае все отмеченные проблемы снимаются и работа такой системы в режиме поиска выглядит следующим образом:

пользователь на естественном языке формулирует информационный запрос;

ИПС переводит его на ИПЯ и выдаёт пользователю формулировку поискового предписания в виде перечня дескрипторов и предлагает против каждого дескриптора поставить значения весовых коэффициентов, взятых из предлагаемой шкалы, а также указать желаемую степень полноты отбора (обычно их не более 3–5). От выбора степени полноты отбора будет зависеть назначение порога отбора R (самой низкой степени полноты будет соответствовать самое высокое значение порога R , при этом будут отобраны лишь документы, в максимальной степени соответствующие поисковому предписанию);

в соответствии с указанными весовыми коэффициентами и требуемой степенью полноты отбора ИПС определяет пороговое значение критерия R и проводит отбор поисковых документов;

по адресам, содержащимся в поисковых образах отобранных документов, система извлекает из массива библиографических описаний и рефератов соответствующие описания и выдаёт их пользователю;

пользователь по библиографическим описаниям и рефератам производит окончательный отбор документов и отмечает, какие из них хотел бы получить полностью;

ИПС извлекает из внешней памяти полные тексты этих документов и транслирует их пользователю, где они формируются в памяти ПЭВМ, а далее пользователь использует их по своему усмотрению: распечатывает, сохраняет в памяти ПЭВМ или после прочтения стирает.

Начиная с 1970-х гг. во всем мире было создано множество разнообразных автоматизированных ИПС на базе ЭВМ с использованием различных дескрипторных языков, различной организацией хранения и поиска документов и различными алгоритмами формирования поисковых предписаний и их сравнения с поисковыми образами. Однако в настоящее время, в связи с объединением банков данных, ИПС и локальных вычислительных сетей в единую информационную сеть INTERNET, возникла насущная потребность в стандартизации способов обращения к ИПС и внешнего интерфейса, чтобы любой пользователь, соединившись с данной ИПС, имел возможность получить необходимую информацию. Поэтому для включения конкретной автоматизированной ИПС в единую информационную сеть должна быть проведена большая работа, связанная с техническим и программным обеспечением функционирования данной ИПС в информационной сети.

Определение погрешностей

Оценивание погрешностей средств измерений

Необходимо иметь в виду, что любой результат измерений содержит погрешность измерений.

Погрешность измерений наиболее часто выражается одним из следующих способов:

границами, в пределах которых с вероятностью P находится погрешность измерений;

средним квадратическим отклонением (СКО) погрешности измерений.

В ряде случаев погрешность средств измерений выражают характеристиками систематической и случайной составляющих:

границами, в пределах которых с вероятностью P находится неисключенная систематическая составляющая погрешности измерений или СКО неисключенной систематической составляющей погрешности измерений;

СКО случайной составляющей погрешности измерений.

В зависимости от использования и способа получения погрешность средств измерений может быть указана в следующем виде.

Нормы погрешности измерений или нормы точности измерений (требований к погрешности измерений). Требования к погрешности измерений обычно выражают следующим образом: «Погрешность измерений не должна выходить за границы $+A$; $-B$ с вероятностью P » или «СКО погрешности измерений не должно превышать D ».

Если заданная вероятность $P = 1$ и границы A и B по модулю равны, то требования к погрешности измерений указывают следующим образом: «Предел допускаемых значений погрешности измерений A ».

Границы A и B можно указывать в виде абсолютных значений (в единицах измеряемой величины) или относительных значений (в % от значения измеряемой величины). Нормы погрешности измерений указывают в техническом задании на разработку методики выполнения измерений (МВИ), в технических условиях в качестве требований к точности измерений при контроле и испытаниях продукции и в других нормативных документах.

Приписанная характеристика погрешности измерений – это характеристика погрешности любого результата измерений, полученного при соблюдении требований и правил данной методики выполнения измерений (МВИ). Приписанную характеристику погрешности измерений указывают в документе на МВИ.

Обычно приписанное значение погрешности измерений выражают в виде модуля границ, в пределах которых погрешность измерений находят с вероятностью, практически равной 1. При этом эту вероятность не указывают.

Если норма погрешности измерений выражается «погрешность измерений не должна превышать ...», то приписанная характеристика выражается «погрешность измерений не превышает...».

Приписанные значения и статистические оценки погрешности не следует смешивать с нормами точности измерений, так как методы их установления и использование различны.

Статистическая оценка характеристики погрешности измерений отражает близость уже полученного результата (результатов) измерений к истинному значению измеряемой величины. Таким образом, статистические оцен-

ки справедливы только для тех условий, в которых выполнялся эксперимент или расчетно-экспериментальная процедура.

Обычно статистическая оценка погрешности измерений выражена оценками нижней и верхней границ (доверительным интервалом), в пределах которых с доверительной вероятностью $P_{\text{дов}}$ находится погрешность измерений.

Статистическую оценку характеристики погрешности измерений обычно приводят в отчете об исследованиях, в процессе выполнения которых используют разработанные для данных исследований специальные измерительные процедуры или неаттестованные МВИ, в отчете о некоторых метрологических НИР.

Нормы, приписанные характеристики и статистические оценки погрешности измерений выражают не более чем двумя значащими цифрами.

Необходимо учитывать, что при косвенных измерениях в составе погрешности измерений имеют место методические составляющие. Кроме того, в состав погрешности измерений может входить личностная составляющая погрешности при «ручной» обработке результатов регистрации на диаграммах самопишущих приборов.

Исходные данные для оценивания погрешности средств измерений

Для оценивания погрешности средств измерений обычно необходимы четыре группы исходных данных: об измеряемой величине, о метрологических характеристиках используемых средств измерений и об условиях эксплуатации средств измерений (о внешних влияющих величинах).

Исходная информация об измеряемой величине должна включать:

диапазон измерений, номинальное (среднее) значение либо значение, для которого оценивается погрешность измерений;

при измерении средних или интегральных (суммарных) значений дополнительно;

число точек «отбора» информации об измеряемой величине, их распределение в пространстве, интервал времени усреднения или интегрирования (суммирования);

частотные характеристики для быстро меняющихся измеряемых величин (сравнительно с инерционностью используемых средств измерений).

Метрологические характеристики средств измерений следующие:

пределы допускаемых значений основной погрешности;

пределы допускаемых значений дополнительных погрешностей при наибольших отклонениях внешних влияющих величин от нормальных значений либо максимально допускаемые значения коэффициентов влияния;

некоторые частные динамические характеристики (чаще всего время установления показаний или выходного сигнала при скачке на входе);

сведения о характеристиках вспомогательных устройств, которые могут оказать существенное влияние на погрешность измерений (например, отклонения от номинальных значений термоЭДС, удлиняющих термокомпенсационных проводов для термопар, сопротивление соединительных проводов для термометров сопротивления и др.).

Сведения об условиях эксплуатации средств измерений должны включать нормальные (номинальные) значения характеристик внешних влияющих величин и границы возможных отклонений от этих значений в процессе эксплуатации.

Для анализа размеров методических составляющих погрешности измерений необходимы априорные сведения о возможных источниках этих составляющих из специальной литературы или результатов специальных исследований, если они проводились до разработки данной МВИ.

Выбор расчетной, экспериментальной или расчетно-экспериментальной процедуры оценивания погрешности средств измерений

Расчетные методы оценивания погрешности средств измерений используют в тех случаях, когда нет условий для применения экспериментальных методов. Кроме того, расчетные методы оценивания погрешности измерений предпочтительны при наличии исходной информации, достаточной для получения результатов расчета с необходимой точностью.

Чем полнее и конкретнее исходные данные, тем точнее результаты расчета погрешности измерений, тем ближе полученные при расчете характеристики погрешности измерений к действительным характеристикам. Корректные методы расчета погрешности измерений требуют подробной исходной информации о характеристиках случайных и систематических составляющих погрешностей средств измерений и вспомогательных устройств, о частотных спектрах измеряемой и внешних влияющих величин. Такими сведениями в большинстве случаев те, кто аттестуют МВИ, не располагают. Ограниченная исходная информация приводит к определенной неточности результатов расчета погрешности измерений.

К расчетным методам оценивания погрешности средств измерений относят и имитационное моделирование нестабильности метрологических характеристик средств измерений, влияния внешних факторов и динамики изменений измеряемой величины на погрешность измерений.

Экспериментальные методы оценивания погрешности измерений могут быть применены при выполнении следующих условий:

имеются средства измерений контролируемой величины с погрешностью, которую можно считать несущественной в реальных условиях эксперимента по оцениванию погрешности измерений;

имеется возможность создать все существенные комбинации внешних влияющих величин и значений самой измеряемой величины, характерные для разрабатываемой МВИ.

В результате эксперимента получают статистические оценки погрешности измерений или ее составляющих, относящиеся к конкретным объектам измерений, экземплярам средств измерений, значениям внешних влияющих величин и т. п. Чтобы получить приписанные значения характеристик погрешности измерений, экспериментальные исследования погрешности необходимо осуществлять на представительной выборке объектов, средств и условий измерений.

Обычно прямое экспериментальное оценивание погрешности измерений в реальных (производственных) условиях измерений практически весьма затруднено из-за недоступности точки отбора информации об измеряемой величине, недоступности входа датчика (например, термопары, сужающего устройства в трубопроводе и т. п.), отсутствия средств измерений необходимой точности, способных работать в производственных условиях, и других ограничений. В производственных условиях экспериментальным способом можно оценить погрешность лишь части измерительного канала, т. е. некоторые составляющие погрешности измерений.

Необходимо также иметь в виду, что экспериментальное оценивание погрешности средств измерений и ее составляющих дает приближенные результаты из-за невозможности полностью выполнить приведенные выше условия.

Наиболее рациональной процедурой оценивания погрешности измерений при разработке большинства МВИ является расчетно-экспериментальная процедура.

Эта процедура заключается в расчетном или экспериментальном оценивании составляющих погрешности измерений и дальнейшем расчетном сум-

мировании этих составляющих. Экспериментальными методами оцениваются те составляющие погрешности измерений, для которых могут быть выполнены указанные выше условия.

Типичные процедуры оценивания погрешности средств измерений

Оценивание погрешности средств измерений начинают с анализа возможных источников и составляющих погрешности измерений. Следует обратить внимание на возможность наличия методических составляющих погрешности при косвенных методах измерений.

Целесообразно определить, относится ли измеряемая величина к наиболее важным параметрам, и погрешность измерения таких параметров необходимо оценивать более тщательно.

Важными параметрами являются:

измеряемые величины, определяющие безопасность, а также связанные с обеспечением взаимных расчетов (товарно-коммерческие) и определением важнейших технико-экономических показателей;

измеряемые величины, связанные с оптимизацией режимов технологических процессов и координацией потоков сырья или энергии, когда неоптимальность этих величин может привести к значительным потерям.

В ряде случаев используют некоторые способы уменьшения погрешности измерений. При аттестации средств измерения необходимо проанализировать корректность применяемых методов снижения погрешности измерений.

Одним из типичных способов уменьшения погрешности измерений является внесение в результаты измерений поправок, если систематическая составляющая погрешности существенна и незначительно изменяется в течение интервала времени действия поправки.

Например, при измерениях температуры с помощью термопар их погрешности составляют основную часть погрешности измерений. Погрешности термопар после года их эксплуатации изменяются очень медленно, поэтому для повышения точности в результаты измерений могут вводиться поправки на отклонения характеристик конкретных термопар от номинальных значений. Эти поправки могут быть получены при периодических поверках (калибровках) термопар. Такой способ уменьшения погрешности измерений можно признать корректным и эффективным.

Другим способом уменьшения погрешности измерений является усреднение результатов многократных измерений. Этот способ применяют при су-

щественной и относительно высокочастотной случайной составляющей погрешности измерений. При этом необходимо убедиться, что погрешности результатов однократных измерений независимы или слабо коррелированы.

Расчет составляющих погрешности средств измерений

Расчет составляющих погрешности средств измерений выполняется на основе исходной информации для заданных значений измеряемой величины либо для номинальных или средних ее значений.

Результаты расчета целесообразно выражать в виде границ составляющих относительной погрешности. Если заданное или номинальное (среднее) значение измеряемой величины равно или близко к 0, то рассчитывают границы составляющих абсолютной погрешности в единицах измеряемой величины.

Если метрологические характеристики средств измерений нормированы в виде основных и дополнительных погрешностей, то расчет границ инструментальных составляющих (кроме динамических), погрешности измерений выполняется следующим образом:

1) оценка границы i -й составляющей относительной погрешности измерений, вызываемой основной погрешностью i -го средства измерений:

$$\bar{\delta}_i = \delta_{oi} = \frac{\Delta_{oi}}{X_{\text{ном}}} \cdot 100 = \gamma_{oi} \frac{X_{\text{в}} - X_{\text{н}}}{X_{\text{ном}}},$$

где δ_{oi} – предел допускаемых значений относительной основной погрешности i -го средства измерений; Δ_{oi} – то же для абсолютной основной погрешности; γ_{oi} – то же для приведенной основной погрешности, нормированной от разности пределов измерений; $X_{\text{ном}}$ – заданное или номинальное (среднее) значение измеряемой величины, для которого рассчитывается погрешность измерений; $X_{\text{в}}$, $X_{\text{н}}$ – верхний и нижний пределы измерений i -го средства измерений (в тех же единицах, что и $X_{\text{ном}}$).

Если δ_{oi} нормирован для верхнего предела измерений, то $X_{\text{н}} = 0$;

2) оценка границы составляющей относительной погрешности, вызываемой j -й внешней влияющей величиной, при нормировании пределов допускаемых значений относительной δ_{dij} , абсолютной Δ_{dij} , приведенной γ_{dij} i -й дополнительной погрешности при наибольших отклонениях j -й внешней влияющей величины от нормального значения:

$$\bar{\delta}_{ij} = \bar{\delta}_{dij} = \frac{\Delta_{oij}}{X_{\text{ном}}} \cdot 100 = \gamma_{dij} \frac{X_{\text{в}} - X_{\text{н}}}{X_{\text{ном}}}.$$

При нормировании пределов допускаемых значений коэффициентов влияния

$$\bar{\delta}_{ij} = \frac{\delta_{dij}}{\Delta_j} \Delta_{jm} = \frac{\Delta_{dij}}{\Delta_j} \Delta_m \frac{100}{X_{\text{ном}}} \Delta_m = \frac{\gamma_{dij}}{\Delta_j} \Delta_{jm} \frac{X_{\text{в}} - X_{\text{н}}}{X_{\text{ном}}},$$

где $\frac{\delta_{dij}}{\Delta_j}$ – предел допускаемых относительных значений коэффициента влияния (δ_{dij} – предел допускаемых значений дополнительной относительной погрешности при отклонении j -й влияющей величины на Δ_j); $\frac{\delta_{dij}}{\Delta_j}$ – то же для абсолютных значений коэффициента влияния; $\frac{\gamma_{dij}}{\Delta_j}$ – то же для приведенных значений коэффициента влияния, нормированного от разности пределов измерений; Δ_{jm} – наибольшее отклонение внешней влияющей величины от нормального значения (в единицах Δ_j).

Если γ_{dij} нормирован от верхнего предела измерений, то $X_{\text{н}} = 0$.

Если в составе метрологических характеристик средств измерений нормированы характеристики случайных и систематических составляющих погрешности, то расчет составляющих погрешности измерений выполняется согласно Методическим указаниям РД 50-453–84 «Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета».

Оценивание динамических составляющих погрешности измерений может быть выполнено в соответствии с РД 50-453–84 по динамическим характеристикам средств измерений, определенных по Рекомендации МИ 2090–90 «ГСИ. Определение динамических характеристик линейных аналоговых средств измерений с сосредоточенными параметрами. Общие положения».

Методические составляющие погрешности измерений определяют по результатам специальных исследований, анализа условий, процедуры измерений и алгоритма расчета конечного результата измерений.

Предварительное суммирование составляющих погрешности измерений

При последовательном (одноканальном) соединении средств измерений и вспомогательных устройств оценку границы относительной погрешности вычисляют следующим образом:

$$\bar{\delta}_c = K \sqrt{\sum \bar{\delta}_i^{-2}},$$

где $\bar{\delta}_i$ – оценка границы i -й составляющей относительной погрешности измерений (см. выше), а также методической составляющей погрешности; $K = 1$ для оценок границ погрешности измерений величин, не относящихся к наиболее важным; $K = 1, 2$ для оценок границ погрешности наиболее важных измеряемых величин.

При измерениях особо значимых величин оценка границы относительной погрешности измерений может быть получена арифметическим суммированием оценок границ составляющих:

$$\bar{\delta}_c = \sum \bar{\delta}_i,$$

при этом необходимо иметь в виду, что получаемая оценка $\bar{\delta}_c$ существенно завышена.

При параллельном соединении средств измерений и вспомогательных устройств оценку границы относительной погрешности при измерении средних значений величин $X_1, X_2, X_i \dots$ вычисляют следующим образом:

$$\bar{\delta}_c = K \sqrt{\frac{\sum \bar{\delta}_i^{-2}}{m} + \sum \bar{\delta}_j^{-2}},$$

где m – число однотипных параллельных ветвей (точек измерений); $\bar{\delta}_i$ – оценка границы i -й составляющей относительной погрешности параллельной ветви измерительной схемы из числа r составляющих погрешности параллельной ветви (вычисляется как указано выше); $\bar{\delta}_j$ – оценка границы j -й составляющей относительной погрешности общей ветви измерительной схемы

из числа P составляющих погрешности общей ветви (вычисляется как указано выше).

При определении суммы нескольких измеряемых величин оценка границы относительной погрешности суммы результатов измерений этих величин вычисляется следующим образом:

$$\bar{\delta}_s = \frac{1}{\sum X_s} \sqrt{\sum (X_s \cdot \delta_i)^2},$$

где $\bar{\delta}_s$ – оценка границы относительной погрешности измерений при s -м измерении; X_s – среднее значение s -го измерения.

При определении разности двух измеряемых величин оценка границы относительной погрешности разности результатов измерений этих величин вычисляется следующим образом:

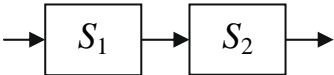
$$\bar{\delta}_p = \frac{1}{[X_{1\text{ном}} - X_{2\text{ном}}]} \sqrt{(x_1 \cdot \bar{\delta}_1)^2 + (x_2 \cdot \bar{\delta}_2)^2},$$

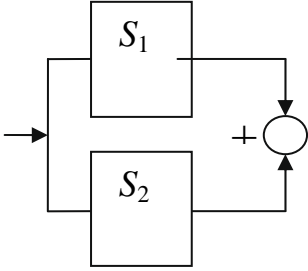
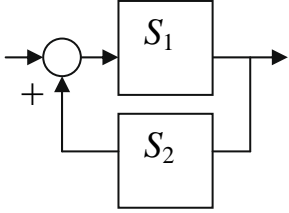
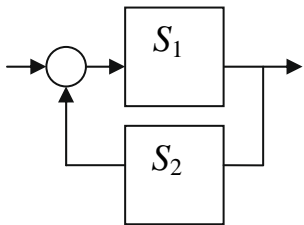
где $[X_{1\text{ном}} - X_{2\text{ном}}]$ – абсолютное значение (модуль) разности номинальных значений $X_{1\text{ном}}$ первой и $X_{2\text{ном}}$ второй измеряемых величин, для которого рассчитывается оценка относительной погрешности их разности; $\bar{\delta}_1$ и $\bar{\delta}_2$ – оценки границ относительных погрешностей измерений первой и второй измеряемых величин.

В табл. 6.1 приведены относительные погрешности при соединении средств измерений и вспомогательных устройств в различном сочетании.

Таблица 6.1

Относительная погрешность измерений для типичных измерительных систем

№ п/п	Схема	Структура	Переда- точная функция	Относительная погрешность измерений
1	2	3	4	5
1	Последовательное соединение		$S_1 S_2$	$\frac{\Delta X_1}{X_1} + \frac{\Delta X_2}{X_2}$

1	2	3	4	5
2	Параллельное соединение		$S_1 S_2$	$\frac{S_1}{S_1 \pm S_2} \frac{\Delta X_1}{X_1} \pm \frac{S_2}{S_1 \pm S_2} \frac{\Delta X_2}{X_2}$
3	Положительная обратная связь		$\frac{S_1}{1 - S_1 S_2}$	$\frac{1}{1 - S_2 S_2} \frac{\Delta X_1}{X_1} + \frac{1}{S_1 S_2} \frac{\Delta X_2}{X_2}$
4	Отрицательная обратная связь		$\frac{1}{1 + S_1 S_2}$	$\frac{1}{1 + S_2 S_2} \frac{\Delta X_1}{X_1} + \frac{1}{S_1 S_2 + 1} \frac{\Delta X_2}{X_2} + 1$

При близости $X_{1\text{ном}}$ и $X_{2\text{ном}}$ целесообразно вычислять оценку границы абсолютной погрешности разности результатов измерений величин X_1 и X_2 :

$$\bar{\Delta}_p = \sqrt{\Delta_1^{-2} + \Delta_2^{-2}},$$

где $\bar{\Delta}_1$ и $\bar{\Delta}_2$ – оценки границ абсолютных погрешностей измерений первой и второй величин.

Выделение существенных (доминирующих) составляющих погрешности измерений

Составляющая принимается существенной (доминирующей), если квадрат значения ее границы больше 20 % квадрата значения границы погрешности измерений (при квадратичном суммировании составляющих).

Уровень существенности составляющей погрешности измерений при арифметическом суммировании 30 %.

Для конкретной МВИ уровень существенности составляющей погрешности измерений может быть установлен другим, в зависимости от значимости измеряемой величины.

Для существенных (доминирующих) составляющих погрешности измерений наиболее важных измеряемых величин, которые не могут быть оценены экспериментально, необходимо: выявить причины неточности расчета оценки границ составляющих погрешности из-за неполноты исходной информации и принятых в этой связи допущений, получить дополнительную информацию и выполнить новый расчет.

Например, при расчете составляющей погрешности измерений, вызванной отклонениями от нормального значения температуры воздуха, окружающего датчики, установленные вне помещения, приняты граничные значения диапазона температуры от -40 до 30 °С (согласно табл. 4 ГОСТ 16350 для холодного климатического района). Дополнительный анализ результатов наблюдений гидрометеослужбы по местности, где установлены датчики, показал, что граничные значения диапазона температуры воздуха составляют от -25 до 25 °С. Эти значения необходимо использовать при окончательном расчете составляющей погрешности измерений, вызванной отклонениями от нормального значения температуры воздуха.

Расчет составляющих погрешности измерений по уточненной исходной информации

Если уточненная исходная информация не содержит сведений о характеристиках случайных и систематических составляющих погрешности измерений, то расчет границ инструментальных составляющих выполняется по приведенным выше формулам с использованием уточненных значений пределов допускаемых значений основных и дополнительных погрешностей и других метрологических характеристик средств измерений, пределов изменений влияющих величин, номинальных (средних) значений измеряемой величины.

Если уточненная исходная информация содержит сведения о границах неисключенных систематических составляющих и средних квадратических отклонениях (СКО) случайных составляющих погрешности измерений, то расчет составляющих погрешности измерений выполняется следующим образом:

$$\bar{\delta}_i = \sqrt{(2\bar{\delta}_i)^2 + \bar{\delta}_{\text{нси}}^2},$$

где $\bar{\delta}_i$ – оценка СКО i -й составляющей относительной погрешности измерений; $\bar{\delta}_{nci}$ – оценка границы неисключенной систематической составляющей погрешности измерений.

Суммирование составляющих погрешности измерений

Если определены лишь границы составляющих погрешности измерений (без разделения на случайные и систематические составляющие), то суммирование составляющих выполняется так, как указано выше.

Если определены границы неисключенных систематических составляющих и средних квадратических отклонений (СКО) случайных составляющих погрешности измерений, то расчет оценки границы суммарной относительной погрешности измерений выполняется следующим образом:

$$\bar{\delta}_c = \sqrt{\sum (2\bar{\delta}_i)^2 + \sum \bar{\delta}_{nci}^2}.$$

Коэффициент 2 перед $\bar{\delta}_i$ соответствует доверительной вероятности 0,95 при условии, что функция распределения случайной составляющей суммарной погрешности измерений одномодальна и симметрична (это условие практически выполняется в большинстве случаев).

Экспериментальное оценивание составляющих погрешности средств измерений

К экспериментальному оцениванию погрешности измерений или ее составляющих приходится прибегать, если граница погрешности измерений, оцененная расчетным способом, близка к пределу допускаемых значений (к норме погрешности измерений).

Экспериментальное оценивание целесообразно для существенных (доминирующих) составляющих погрешности измерений.

Неточность оценок погрешности средств измерений

Неточности оценок погрешности измерений и ее составляющих обычно вызваны ограниченной исходной информацией и принятыми в этой связи допущениями, а также условиями эксперимента, которые не в полной мере удовлетворяют требованиям необходимой точности получаемых оценок. Ре-

зультат оценивания погрешности измерений является результатом познавательного процесса. По этой причине невозможно экспериментальным или расчетным способом получить истинные характеристики погрешности измерений.

При расчетном оценивании погрешности измерений обычно отсутствует полная исходная информация, в результате чего принимают следующие основные допущения:

отсутствует или незначительна корреляция между составляющими погрешности измерений;

функция распределения внешних влияющих величин равномерная или нормальная;

погрешности измерений текущих значений в интервале их усреднения некоррелированы (относительно высокочастотная погрешность) или сильно коррелированы (практически неизменная погрешность);

инерционные свойства средств измерений не оказывают существенного влияния на погрешность измерений;

при отсутствии сведений о виде функции влияния ее принимают линейной.

При экспериментальных процедурах оценивания погрешности измерений принимают следующие основные допущения:

случайная составляющая погрешности измерений считается высокочастотной и ее конкретные значения, полученные в течение времени эксперимента, считаются некоррелированными, а вычисленную на основе такого эксперимента оценку СКО погрешности измерений приписывают значительно большим интервалам времени;

оценку систематической составляющей погрешности измерений, полученную в течение времени эксперимента, приписывают значительно большим интервалам времени;

считают типичной или наихудшей (для погрешности измерений) в реальных условиях измерений;

погрешности эталонов принимаются несущественными.

Ориентировочные расчеты неточности (погрешности) оценок погрешности измерений и ее составляющих, а также условия удовлетворительной точности таких оценок приведены в Рекомендации МИ 2232–2000 «ГСИ. Обеспечение эффективности измерений при управлении технологическими

процессами. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации».

К расчетам неточности (погрешности) оценок погрешности измерений и ее составляющих целесообразно прибегать в случаях, когда граница погрешности измерений, оцененная расчетным или экспериментальным способом, близка к пределу допускаемых значений (к норме погрешности измерений), при этом такие расчеты выполняют для наиболее существенных (доминирующих) составляющих погрешности измерений.

Точность экспериментального оценивания существенных составляющих погрешности измерений может быть признана удовлетворительной, если погрешность оценки не превышает 30 % от самой оценки.

Если точность оценки границы погрешности измерений признается удовлетворительной, то такая оценка используется по своему назначению, в том числе для решения вопроса о соответствии значения измеряемой величины предъявляемым требованиям.

Если точность оценки границы погрешности измерений признается неудовлетворительной, то необходимо получить дополнительную информацию для более точного расчета существенных составляющих либо выполнить более точное их экспериментальное оценивание.

7. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Предлагаемый лабораторный практикум отражает опыт выполнения лабораторных работ, разработанных на кафедре «Конструирование и производство радиоаппаратуры» СФУ. В лабораторных работах представлено описание структурных схем измерительных установок, приборов и основные методические аспекты проведения работ по основам метрологии. Автор полагает, что предлагаемая структура лабораторных работ способствует раскрытию возможностей теории измерений и прикладной статистики в области совершенствования методов экспериментального исследования параметров и характеристик различных объектов радиоэлектроники.

Лабораторная работа № 1

ПРЯМЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ С МНОГОКРАТНЫМИ НЕЗАВИСИМЫМИ НАБЛЮДЕНИЯМИ

Цель работы: изучение методов обнаружения и оценки метрологических характеристик, нормирующих случайную составляющую погрешности измерения.

Суть работы заключается в том, чтобы проверить гипотезу о принадлежности данных, полученных в результате эксперимента, нормально распределенной генеральной совокупности и, если эта гипотеза будет отвергнута, подобрать наиболее вероятный тип распределения. Проверка гипотез осуществляется в соответствии с ГОСТ 11.006–87 «Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим». Обработка результатов эксперимента в соответствии с указанным стандартом предполагает значительный объем вычислений и должна выполняться с помощью специально разработанного пакета программ MI, рассматриваемого в прил. 1.

Краткие теоретические сведения

Показатели точности измерения и формы представления результатов рассмотрены выше (параграф 1.7). Определению показателей точности посвящены главы 2 и 3 настоящего учебника.

Алгоритм определения показателей точности представлен на рис. 7.1.

Статистический анализ точности измерений ставит значительное количество задач по выявлению факторов, вызывающих появление погрешностей. Методология решения таких задач сводится к следующему:

- 1) планирование эксперимента, в частности определение объемов выборок и метода их получения, оценивание параметров выборки;
- 2) проверка предположения, касающегося неизвестного распределения случайной величины;
- 3) решение задачи оценивания исследуемых параметров и принятия мер в зависимости от результатов исследования.

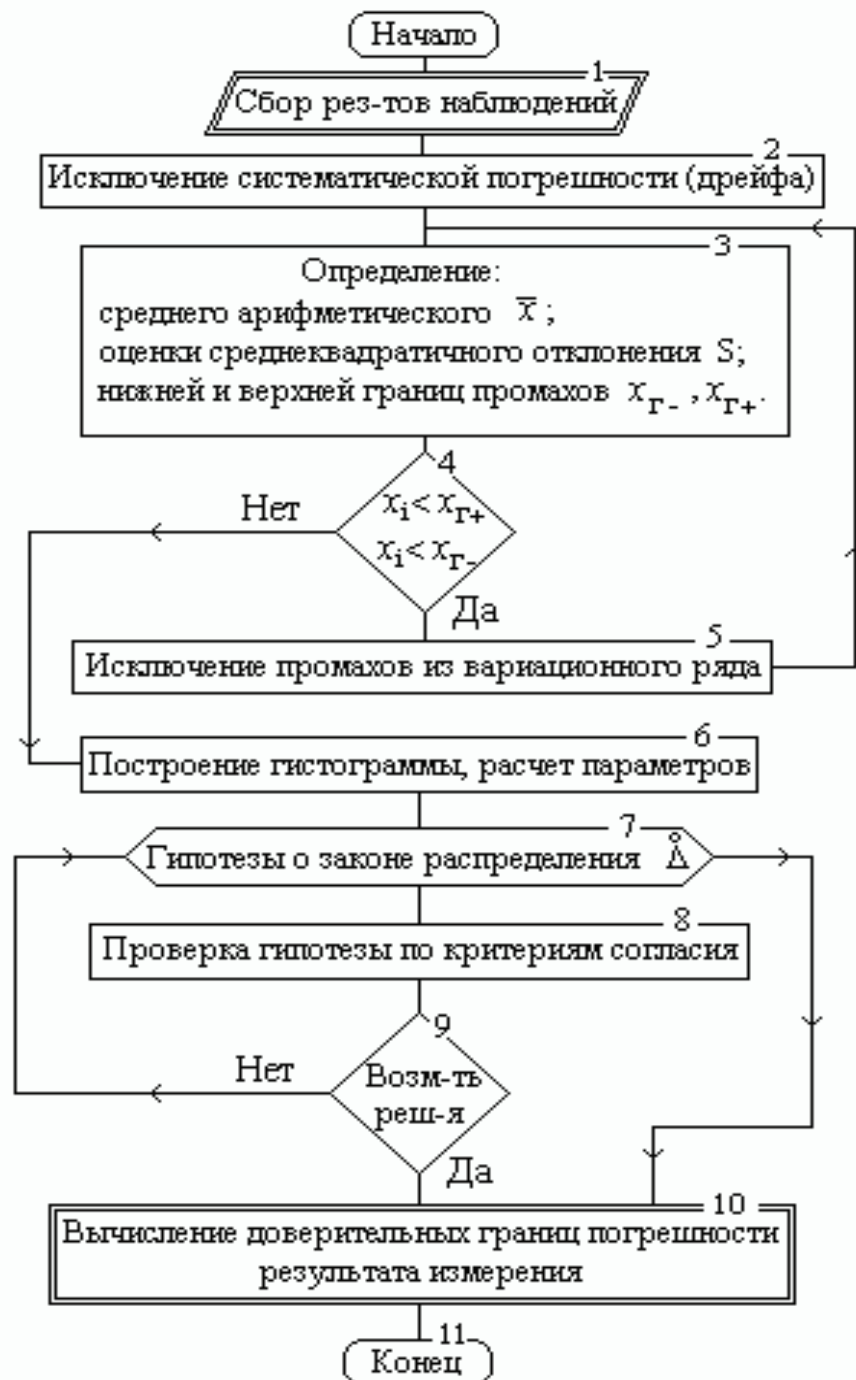


Рис. 7.1. Алгоритм определения показателей точности

Статистическое исследование результатов наблюдений выполняется для того, чтобы на основании данных о состоянии объекта измерения в предшествующие моменты времени прогнозировать его состояние для последующего момента времени, выявлять скрытые закономерности, пополняя перечень систематических составляющих погрешности измерения и в случае необходимости осуществлять корректирование значений соответствующих параметров объекта и средства измерения.

Прогнозирование состояния объекта измерения возможно лишь в том случае, когда корреляция между значениями статистических параметров в заданных промежутках времени достаточно сильная. Если же указанная корреляция слабая или отсутствует, то прогнозировать поведение объекта измерения невозможно.

Наблюдение случайной величины X должно проводиться в одинаковых условиях, наблюдаемая совокупность должна быть однородной.

Задания для домашней подготовки

1. Ознакомьтесь с перечнем показателей точности измерения и формой представления результатов.
2. Изучите методику определения показателей точности прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями.
3. Изучите правила экспериментального установления математической модели распределения погрешностей.
4. Рассмотрите примеры проверки гипотез и вычисления доверительных границ погрешности результата измерения.
5. Ознакомьтесь с описанием пакета прикладных программ МП, инструкцией по использованию пакета и правилами формирования файлов данных.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить у преподавателя Ваш вариант задания, в котором определены: объект и средство измерения, значение измеряемого параметра, порядок подготовки и условия проведения экспериментальных исследований, объем и количество выборок с результатами наблюдений.
2. Ознакомиться с приборами, определенными вариантом задания для использования в эксперименте. Ознакомление начать с изучения технических описаний и инструкций по эксплуатации приборов, используемых при выполнении лабораторной работы. Особое внимание должно быть обращено

на разделы, содержащие сведения о параметрах каждого прибора, структуре и принципе действия, порядке подготовки прибора к работе и работе с ним.

3. После получения допуска к работе собрать лабораторную измерительную установку. Пользуясь техническим описанием, выполнить операции по подготовке приборов к работе.

4. Установить на исследуемом приборе предусмотренное заданием значение выходного параметра. Убедиться в том, что режим работы измерительного прибора выбран правильно. Разброс показаний на цифровом индикаторе измерительного прибора при повторении наблюдений должен быть не менее двух младших разрядов.

5. Занести в протокол предусмотренное заданием количество наблюдений и представить результаты эксперимента преподавателю на утверждение.

6. Подготовить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Задание на лабораторную работу.

Структурная схема экспериментальной установки, основные параметры и характеристики исследуемого и измерительного приборов.

Протокол наблюдений.

Результаты расчетов на ЭВМ.

Обоснование выбора гипотезы о законе распределения случайной составляющей погрешности измерения и результаты вычисления доверительных границ погрешности.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите предусмотренные стандартом показатели точности измерений.
2. Как должны записываться результаты измерений?
3. Дайте определение понятий «грубая погрешность», «промах», «критерий аномальности результатов наблюдений».

4. Рассмотрите возможные способы определения границ промахов и грубых погрешностей.

5. При каком минимальном объеме выборки целесообразно проводить проверку гипотезы о соответствии опытного распределения случайной составляющей погрешности теоретическому, если использовать критерии ω^2 , χ^2 , W^2 .

6. Каким образом соотносятся понятия «начальный момент первого порядка» и параметры выборки «среднее арифметическое», «среднее арифметическое 0.8», «среднее арифметическое 0.9», «выборочное среднее», «центр срединного размаха», «центр размаха», «медиана», «мода»?

7. Каким образом соотносятся понятия «центральные моменты» и параметры выборки «эксцесс», «показатель формы», «энтропийный коэффициент»?

8. Существует ли связь между показателями точности измерения и параметрами «асимметрия», «среднеквадратическое отклонение асимметрии»?

9. Дайте определение и поясните, как связаны между собой случайное отклонение результата наблюдения, среднее квадратическое отклонение результата наблюдения и доверительные границы случайного отклонения результата наблюдения.

Лабораторная работа № 2

КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТОЧНОСТИ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цель работы: изучение методов измерения, при которых искомое значение физической величины находят путем согласованных наблюдений других величин определяемых опытным путем, связанных с искомой физической величиной известной зависимостью; ознакомление с правилами оценивания погрешностей косвенных измерений.

При выполнении работы необходимо практически ознакомиться с системой допусков и посадок, требованиями к точности линейных и угловых параметров изделий, погрешностями изготовления изделий, способами и средствами измерения линейно-угловых параметров и характеристик.

Краткие теоретические сведения

Показатели точности измерения и формы представления результатов рассмотрены выше (параграф 1.7). Определению показателей точности косвенных измерений посвящена гл. 4 настоящего учебника. В работе экспериментальные данные, подвергаемые последующему анализу и преобразованию, должны быть получены с помощью универсальных средств для линейных измерений.

Для обеспечения взаимозаменяемости деталей и узлов различных изделий создана единая система допусков и посадок. Эта система охватывает нормы взаимозаменяемости всех типов соединений, включая электрические. Основу единой системы допусков и посадок (ЕСПД) составляют ряды допусков, называемые квалитетами (их 19: 01, 0, 1, 2, ... 17), и ряды основных отклонений, определяющих положение полей допусков относительно линии номинального размера (рис. 7.2). Поля допусков образуются сочетанием основного отклонения (положения поля) и допуска (величины поля) и обозначаются буквой основного отклонения и числом – номером квалитета. Для обозначения внешних охватываемых размеров (валов) применяются строчные латинские буквы, для отверстий – прописные.

В системе ISO единица допуска i (мкм) для квалитетов от 5-го до 17-го определяется из выражения

$$i = 0,45 \cdot \sqrt[3]{d_{\text{ср}}} + 0,001d_{\text{ср}}.$$

Допуск $\Delta = ai$, где a – число единиц допуска. Величина расстояния e от ближайшей границы поля допуска до линии номинального размера определяется в большинстве случаев по формуле $e = C \cdot d^n$.

Предельные отклонения на чертежах могут указываться:

условными обозначениями, например, 18H7, 12e8;

числовыми значениями, например, $18^{+0,018}$, $12_{-0,059}^{-0,032}$;

комбинированным способом, например, $18H7^{+0,018}$, $12e8_{-0,059}^{-0,032}$.

Выбор измерительного средства по точности осуществляется сравнением предельной суммарной погрешности измерения и допуска на размер детали.

Необходимо выбрать такое измерительное средство, при котором искажение полученных результатов измерения настолько мало, что эти результаты измерения можно было бы принять за действительный размер. Величины допустимых предельных погрешностей измерения деталей, как правило, не должны превышать 30 % от размера допуска.

После выбора предельной погрешности измерения выбирают измерительное средство.

Универсальные средства измерения длин и углов

Штангенинструменты применяют для измерения линейных размеров, не требующих высокой точности, абсолютным методом.

К штангенинструментам общего назначения относятся: штангенциркуль (рис. 7.3), штангенрейсмус, штангенглубиномер. Измерение штангенинструментами основано на применении нониуса, который позволяет отсчитывать дробные деления основной шкалы. В настоящее время выпускают штангенинструменты с ценой деления нониуса 0,1, 0,05, 0,02 мм. Пределы измерения выпускаемых штангенинструментов: штангенциркулей – до 2000 мм; штангенглубиномеров – до 500 мм; штангенрейсмусов – до 1000 мм. Погрешность измерения штангенинструментов в диапазоне от 1 до 500 мм составляет от 50 до 200 мкм.

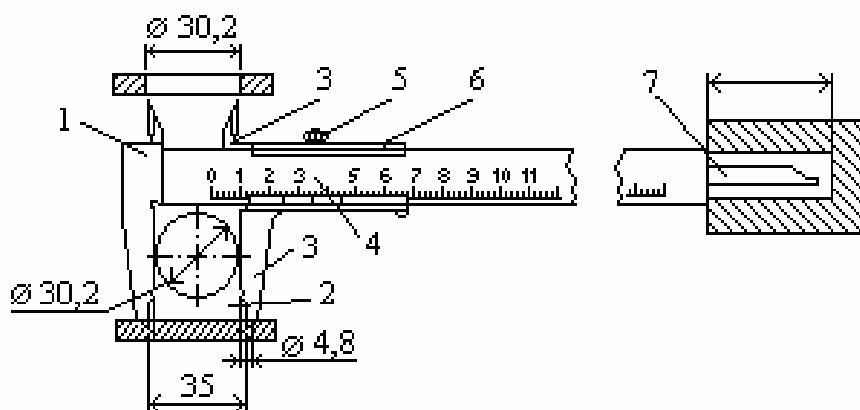


Рис. 7.3. Штангенциркуль

Устройство нониуса и отсчет показаний штангенинструментов

Нониус представляет собой линейку со шкалой, по которой отсчитывают дробные деления основной шкалы. Рассчитывают нониус следующим образом: по заданной длине деления основной шкалы C , цене деления нониуса i , числу делений основной шкалы, соответствующему одному делению шкалы нониуса (модуль нониуса) γ , определяют число делений нониуса n , длину деления шкалы нониуса B и общую длину нониуса:

$$n = \frac{C}{i};$$

$$D = \gamma \cdot C - i;$$

$$l = n \cdot B = n \cdot (\gamma \cdot C - i).$$

Например, при $i = 0,05$ мм, $C = 1$ мм и $\gamma = 2$ $n = \frac{1}{0,05} = 20$,

$$B = 2 \cdot 1 - 0,05 = 1,95 \text{ мм}, l = 20 \cdot 1,95 = 39 \text{ мм}.$$

Отсчет измеряемой величины A с помощью штангенинструментов складывается из отсчета целых делений N по основной шкале и отсчета дробных делений D по шкале нониуса: $A = N + D$.

При нулевом положении нулевые штрихи основной и нониусной шкал совпадают. При этом последний штрих шкалы нониуса также совпадает со штрихом основной шкалы, определяющим длину шкалы нониуса l . При измерении шкала нониуса смещается относительно основной, и по положению нулевого штриха нониуса определяют величину этого смещения, равную измеряемой величине N . Дробные деления определяют по совпадению какого-либо k -го штриха нониуса с любым штрихом основной шкалы. Тогда дробная часть измеряемой величины будет равна произведению количества штрихов шкалы нониуса от нулевого до k -го на цену деления шкалы нониуса i , т. е. значение измеряемой величины по шкале штангенинструментов

$$A = N + k \cdot i.$$

Измерение с помощью штангенциркуля (см. рис. 7.3) различных элементов конструкции (диаметров отверстия или вала, межцентрового расстояния, глубины отверстия и т. п.) проводят следующим образом: при отстопленном винте 5 перемещают по штанге 1 нониус 6, приводят в соприкосновение с поверхностями измеряемых деталей измерительные поверхности штанги и нониуса 2 и 3 или соединенного с нониусом измерительного стержня 7. В этом положении необходимо застопорить рамку нониуса 6 винтом 5 и снять отсчет со шкалы прибора.

Микрометрические измерительные инструменты основаны на использовании точной винтовой пары (винт-гайка), которая преобразует вращательные движения микровинта в поступательные. К микрометрическим инструментам относятся: микрометры (рис. 7.4), микрометрические глубиномеры, микрометрические нутромеры. Микрометрические инструменты предназначены для абсолютного контактного метода измерения. Цена деления прибора 0,01 мм. Погрешность измерения зависит от пределов измерения микрометра и составляет: от 3 мкм для микрометров 0–25 мм до 50 мкм для микрометров с пределами измерения 400–500 мм. Принцип микрометрической пары используется в конструкциях многих измерительных приборов.

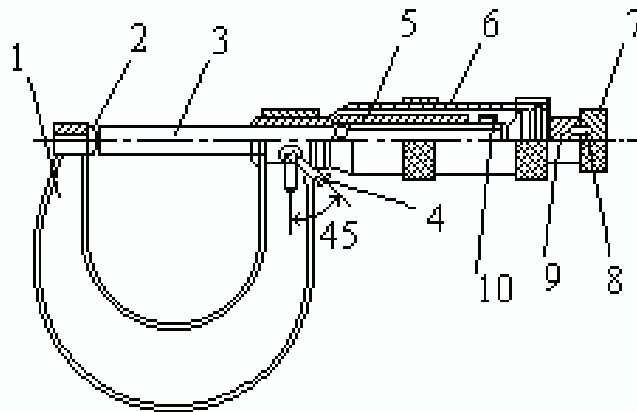


Рис. 7.4. Микрометр

Устройство микromетра. Общий вид микromетра показан на рис. 7.4. Корпусом инструмента служит скоба 1, в которую запрессованы с одной стороны пятка 2, с другой – стебель 5, на котором закреплена микрогайка и нанесена продольная шкала. Одной измерительной поверхностью является торец микрометрического винта 3, выдвигающегося из стебля, второй – торец пятки 2. Микровинт связан с корпусом барабана 6, имеющим на конусном конце круговую шкалу. Заканчивается барабан резьбой, на которую навинчивается гайка 9, являющаяся корпусом механизма трещетки. Основное назначение трещетки – обеспечивать постоянство измерительного усилия за счет храповика 7 и подпружиненного стержня 8. Микрометр снабжен устройством 4, позволяющим стопорить микровинт гайкой 10 для регулировки зазора в паре микровинт – микрогайка.

Отсчет показаний микрометрических инструментов. Отсчетное устройство микрометрических инструментов состоит из двух шкал (см. рис. 7.4). Продольная шкала имеет два ряда штрихов с интервалом 1 мм, расположенных по обе стороны горизонтальной линии и смещенных относительно друг друга на 0,5 мм. Таким образом, оба ряда штрихов образуют одну продольную шкалу с ценой деления 0,5 мм.

Микровинт связан с барабаном 6, который на конусном конце имеет круговую шкалу с числом делений $n = 50$. Учитывая, что шаг резьбы винтовой пары $S = 0,5$ мм, цена деления круговой шкалы (нониуса) микromетра $C = S / n = 0,5 / 50 = 0,01$ мм.

Размер измеряемой детали с точностью до 0,5 мм отсчитывают по шкале стебля указателем, которым является скошенный край барабана. Сотые доли миллиметра отсчитывают по круговой шкале барабана, указателем которой является продольный штрих на стебле микromетра.

Установка микрометра на нуль. Перед началом измерений микрометрическими инструментами производят их проверку и установку на нуль на начальном делении шкалы. Для микрометров с пределом измерений 0–25 мм – на нулевом делении шкалы, для микрометров с пределами измерений 25–50 мм – на делении 25 и т. д. Осторожно вращая микровинт за трещетку, приводят в соприкосновение измерительные поверхности микровинта и пятки. У микровинтов с пределом измерения 25–50, 50–75 и т. д. микровинт и пятка соединяются между собой через блок концевых мер длины размером 25, 50 мм и т. д. или через специально установочные цилиндрические меры, прилагаемые в комплект к микрометрам.

При указанном соприкосновении скошенный край барабана микрометра должен установиться так, чтобы штрих начального деления основной шкалы (нуль или 25, 50 мм и т. д.) был полностью виден, а нулевое деление круговой шкалы барабана совпадало с продольной горизонтальной линией на стебле 5 (см. рис. 7.4). Если такого совпадения нет, то стопором 4 необходимо зафиксировать микровинт 3 и, придерживая барабан 6 за накатанный выступ, ослабить накидную гайку 9. Затем, поворачивая освобожденный корпус барабана, совмещают нулевое деление на барабане с горизонтальной линией на стебле 5 микрометра и, придерживая корпус барабана за накатанный выступ, снова закрепляют барабан гайкой 9.

Следует иметь в виду, что при затягивании гайки 9 нулевая установка может снова нарушиться, поэтому нужно снова проверить ее и при необходимости исправить.

Установку микрометрического нутромера на нуль производят по специальной установочной скобе, которая входит в комплект прибора. Возможна установка и с помощью концевых мер длины.

Придерживая нутромер за гильзу и вращая барабан за накатное кольцо, выворачивают микрометрический винт до соприкосновения измерительных наконечников с поверхностями установочной скобы. Затем стопорят микровинт. Нулевой штрих горизонтальной линии основной шкалы должен быть виден полностью, скошенный край барабана должен касаться данного штриха, а нулевое деление барабана совпадать с горизонтальной линией основной шкалы. Наибольшими покачиваниями определяют, соответствует ли размер нутромера наименьшему расстоянию между поверхностями установочной скобы или концевых мер длины. Если нутромер между поверхностями скобы проходит туго, то микровинт отстопоривают и настройку повторяют несколько

ко раз для отыскания наименьшего расстояния между поверхностями установочной скобы (находят наименьшее показание нутромера). Если нутромер не установлен на нуль, то при застопоренном микровинте необходимо ослабить контргайку и отрегулировать установку барабана на нуль. После окончательной установки на нуль можно присоединить удлинительные трубки, при этом нулевая установка не нарушается.

Измерение микрометром и микрометрическим нутромером. При измерении микрометром (см. рис. 7.4) отводят измерительную поверхность микровинта 3, вращая барабан 6, на необходимое расстояние. Между микровинтом 3 и пяткой 2 помещают измеряемую деталь и при помощи барабана 6 сокращают зазор между измеряемой деталью и измерительными поверхностями до 1–2 мм. Окончательное соприкосновение измерительных поверхностей с деталью производят вращением трещетки 7 и снимают показания прибора.

При измерении микрометрическим нутромером его вводят в измеряемое отверстие и, отстопорив микровинт, вращением накатного кольца приводят измерительные наконечники прибора в соприкосновение со стенками отверстия и затем снова стопорят микровинт.

Измерение размера производят несколько раз, слегка покачивая нутромер в плоскости, проходящей через ось отверстия, отыскивая соответственно наибольший и наименьший размеры. После окончательной установки нутромер на размер стопорят микровинт и снимают показания.

Обработку результатов непосредственных наблюдений выполняют для того, чтобы на основании данных о геометрических размерах детали произвести расчет ее массы и выполнить оценку погрешности результата.

Определение размеров детали должно проводиться измерительным инструментом, имеющимся в распоряжении студента и обеспечивающим наименьшее значение погрешности для каждого параметра.

Задания для домашней подготовки

1. Ознакомьтесь с перечнем показателей точности измерения и формой представления результатов.
2. Изучите методику определения показателей точности косвенных измерений.
3. Изучите правила выбора измерительного инструмента и способы измерения геометрических размеров с наименьшей погрешностью.
4. Рассмотрите примеры вычисления доверительных границ погрешности результата косвенного измерения.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить у преподавателя Ваш вариант задания, в котором определены объект измерения и порядок назначения допусков на размеры. Выполнить эскиз детали в соответствии с требованиями ЕСКД, используя для определения номинальных значений размерных параметров штангенинструмент, и согласовать с преподавателем перечень размеров, определяемых с минимальной погрешностью.
2. Ознакомиться с измерительным инструментом для использования в эксперименте. Особое внимание должно быть обращено на раздел, содержащий сведения о параметрах каждого измерительного прибора, структуре и принципе действия, порядке подготовки прибора к работе и работе с ним.
3. После получения допуска к работе, используя набор концевых мер длины, микрометрический, рычажный и др. измерительный инструмент и приборы, выполнить повторные измерения установленных ранее размеров.
4. Занести в протокол предусмотренное заданием количество наблюдений и представить результаты эксперимента преподавателю на утверждение.
5. Подготовить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Задание на лабораторную работу.

Эскиз детали с экспериментально определенными номинальными размерами и допусками.

Протокол непосредственных наблюдений и результаты расчетов погрешностей определения размеров детали.

Обоснование выбора образцового измерительного инструмента для уточнения результатов предварительных измерений.

Заключение о годности по каждому размерному параметру и альтернативные допуски на размеры.

Результаты расчета массы детали и коэффициенты влияния.

Суммарную и доминирующую погрешности косвенного измерения.

Вопросы для самопроверки

1. Укажите предусмотренные стандартом показатели точности измерений.
2. Как должны записываться результаты измерений?

3. Для какого метода измерения предназначены микрометрические инструменты и штангенинструменты?
4. Опишите устройство нониуса штангенциркуля и микрометра.
5. Как установить микрометр на нуль? Зачем производят установку микрометра на нуль?
6. На каком принципе основано устройство микрометрических инструментов?
7. Почему при проверке микрометров на плоскостность и параллельность применяют стеклянные цилиндры четырех размеров?
8. Назначение плоскопараллельных концевых мер длины. Правила составления блока концевых мер длины.

Проведение виртуального эксперимента выполнения лабораторной работы

Виртуальный эксперимент максимально приближен по своей сути к физическому: на основании данных о геометрических размерах детали следует произвести расчет ее массы и выполнить оценку погрешности результата.

Определение размеров детали и создание эскиза производится системой «КОМПАС», а для расчета массы и погрешности результата измерений используется автономный модуль National Instruments – LVRunTimeEng.

Задания для домашней подготовки

1. Ознакомьтесь с перечнем показателей точности измерения и формой представления результатов.
2. Изучите методику определения показателей точности косвенных измерений.
3. Изучите правила выбора измерительного инструмента и способы измерения геометрических размеров с наименьшей погрешностью.
4. Рассмотрите примеры вычисления доверительных границ погрешности результата косвенного измерения.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить у преподавателя Ваш вариант задания в виде файла системы «КОМПАС» формата *.cdw. Данный файл содержит эскиз детали (пример на рис. 7.5) и её номинальные размеры. Воспользовавшись инструментом «Размеры и технологические обозначения» (рис. 7.6), произвести «снятие»

фактических размеров детали. Причем на каждом размере должно быть правильно проставлено значение качества (рис. 7.7).

После всех проделанных процедур файл сохраняется под своим именем, в своей рабочей папке. Для удобства переноса снятых величин размеров в расчетный модуль LVRunTimeEng и составления отчета файл рекомендуется распечатать.

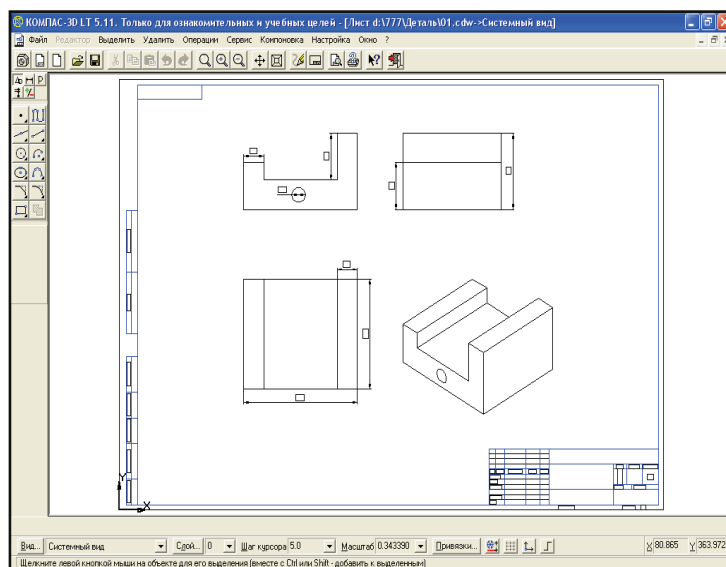


Рис. 7.5. Эскиз детали

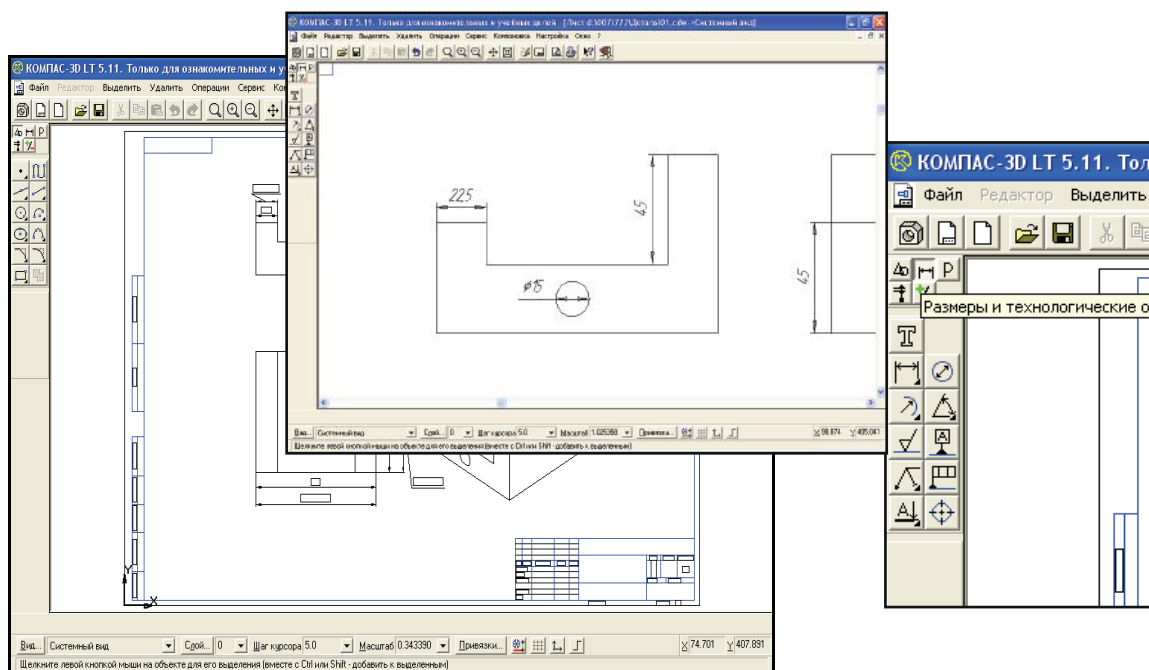


Рис. 7.6. Технологическое обозначение

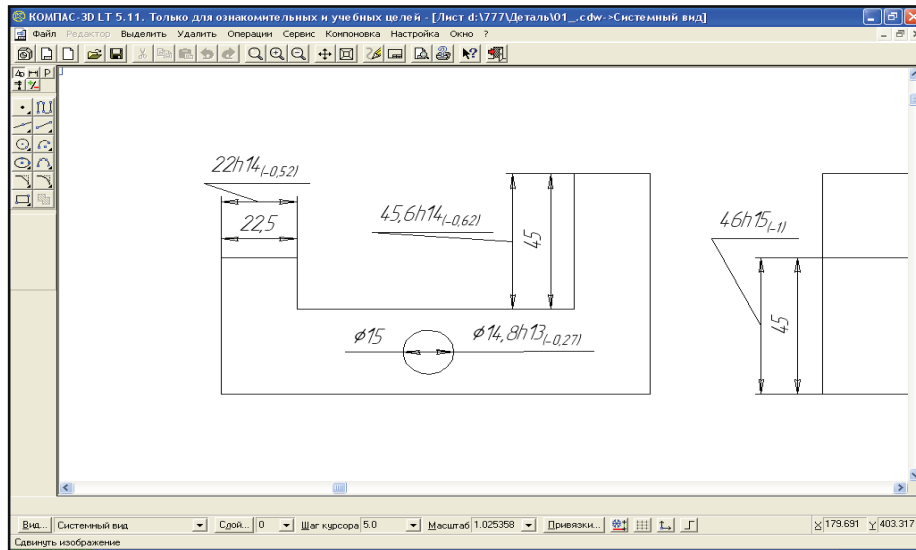


Рис. 7.7. Значения квалитетов



Рис. 7.8. Вид пакета виртуальных инструментов

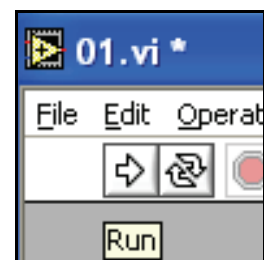
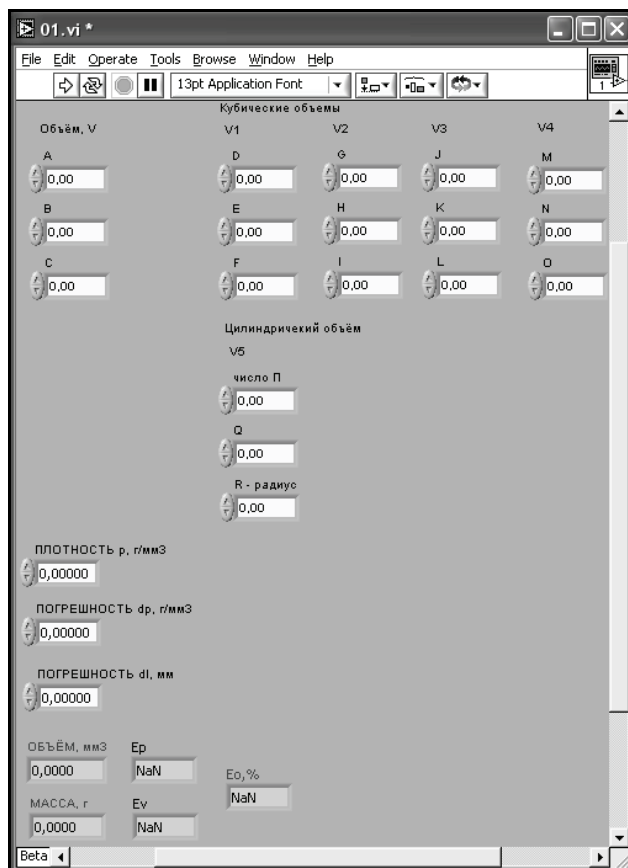


Рис. 7.9. Вид на экране

2. Согласно Вашему варианту открыть файл пакета виртуальных инструментов Lab View (рис. 7.8) с расширением *.vi.

В данном программном продукте с легкостью реализуется построение алгоритма расчета лабораторной работы. Алгоритм расчёта построен таким же образом, как и при физическом эксперименте: общий объём детали рассчитывается путём сложения или вычитания простых объёмов. Для расчета требуется ввести значения, полученные в системе «КОМПАС», и запустить расчёт (рис. 7.9).

Программа рассчитает всё сама и выдаст результаты, которые вместе с эскизом войдут в отчёт, предоставляемый на проверку преподавателю.

Лабораторная работа № 3

СОВМЕСТНЫЕ И СОВОКУПНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРЯМЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

Цели и задачи работы: изучение совместных и совокупных методов измерения и их использование для определения систематических погрешностей измерительных средств. Обработка результатов эксперимента в данной работе предполагает значительный объем вычислений и должна выполняться с помощью пакетов САПР MATCAD, MATLAB или MATHEMATICS.

Краткие теоретические сведения

Показатели точности измерения и формы представления результатов рассмотрены выше (параграф 1.7), определению результатов совместных и совокупных измерений посвящена гл. 4 настоящего учебника. Алгоритм обработки измерительной информации и определения показателей точности представлен на рис. 7.9.

При анализе результатов и оценке точности совместных и совокупных измерений следует выявить факторы, вызывающие появление погрешностей. Методология решения таких задач сводится к следующему: планирование эксперимента, в частности определение количества непосредственных измерений; обеспечение равноточности условных уравнений; предварительная оценка значений искомых параметров и, в случае существования нелинейности, линеаризация условных уравнений; решение задачи оценивания искомых, неизвестных параметров по методу наименьших квадратических отклонений и принятие мер в зависимости от результатов расчетов.

Совместные измерения в данной работе выполняют с целью использования расчетных данных о параметрах объекта для формирования таблицы поправок к измерительному прибору. Данная таблица позволяет выявлять скрытые закономерности, пополнять перечень систематических составляющих погрешности измерения и, в случае необходимости, осуществлять калибровку соответствующих параметров и режимов работы средства измерения.

Проведение физического эксперимента выполнения лабораторной работы – рис. 7.10.

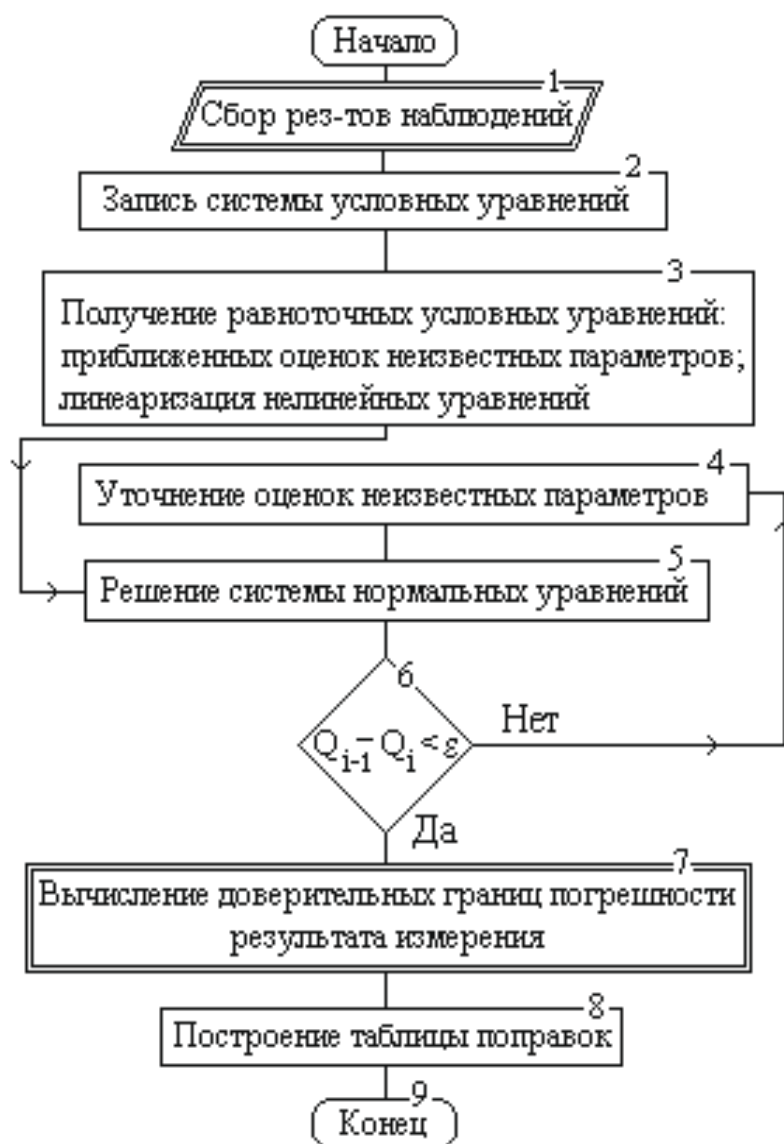


Рис. 7.10. Алгоритм определения показателей точности

Задания для домашней подготовки

1. Ознакомьтесь с перечнем показателей точности и формой представления результатов совместных и совокупных измерений.

2. Изучите методику и алгоритм выполнения совместных измерений.
3. Изучите метод наименьших квадратических отклонений и общую схему его применения.
4. Ознакомьтесь с методом приведения линейных неравноточных условных уравнений к равноточным.
5. Рассмотрите способы линеаризации нелинейных уравнений.
6. Рассмотрите примеры применения метода наименьших квадратических отклонений при обработке результатов совместных измерений.

Ознакомьтесь с вашим вариантом задания и подготовьте систему условных уравнений по предложенной схеме измерения соединения резисторов (рис. 7.11).

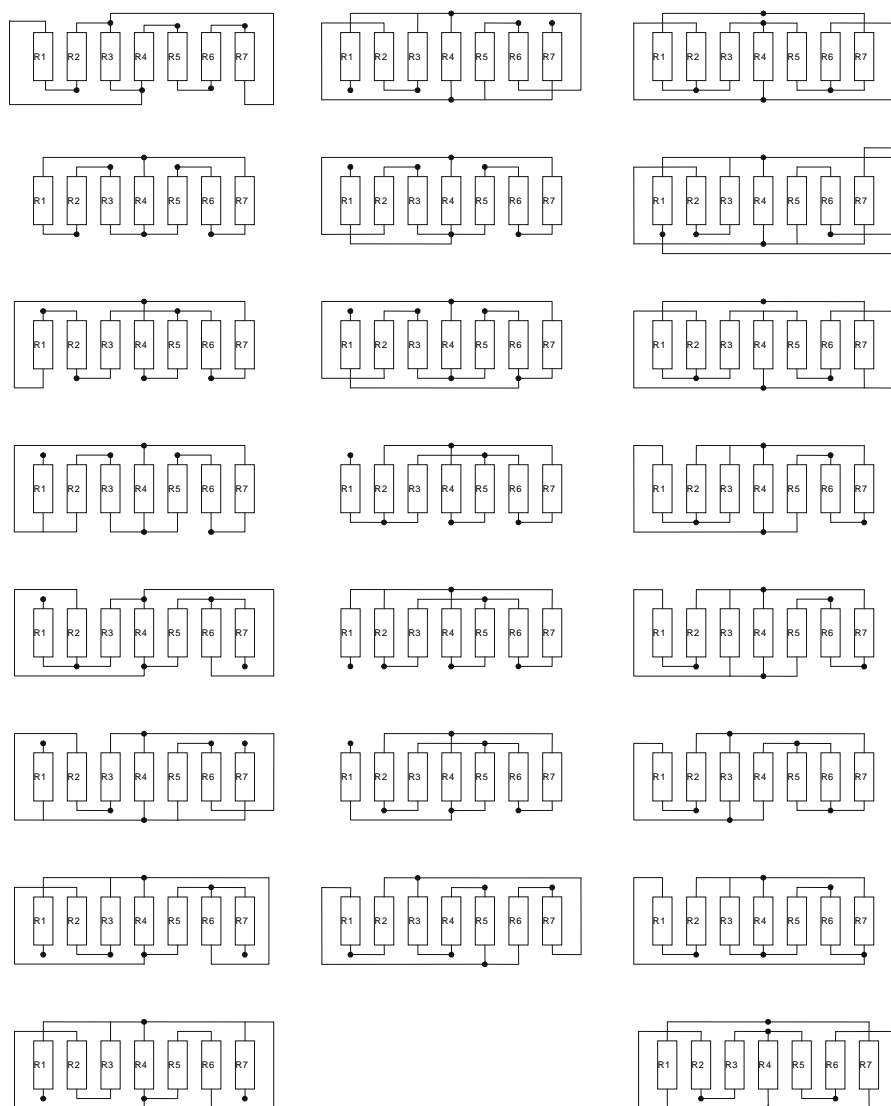


Рис. 7.11. Варианты заданий (схемы соединения)

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить у преподавателя Ваш вариант задания, в котором определены схема соединения резисторов и средство измерения.
2. Ознакомиться с прибором, определенным вариантом задания для использования в эксперименте. Ознакомление начать с изучения технического описания и инструкции по эксплуатации прибора, используемого при выполнении лабораторной работы. Особое внимание должно быть обращено на разделы, содержащие сведения о параметрах прибора, структуре и принципе действия, порядке подготовки прибора к работе и работе с ним.
3. После получения допуска к работе подготовить рабочее место для проведения измерений. Пользуясь техническим описанием, выполнить операции по подготовке прибора к работе.
4. Убедиться в том, что режим работы измерительного прибора выбран правильно. Выполнить измерения сопротивления каждого из резисторов, находящихся в ячейках кассеты, отмеченных номером Вашего варианта. Разброс показаний на цифровом индикаторе измерительного прибора при повторении наблюдений должен быть не более двух единиц младшего разряда.
5. Выполнить с помощью пайки соединение резисторов в соответствии со схемой, предусмотренной Вашим вариантом. Измерить сопротивления между всеми узлами собранной схемы.
6. Занести в протокол предусмотренное заданием количество наблюдений и представить результаты эксперимента преподавателю на утверждение.
7. Выполнить необходимые расчеты, составить таблицу поправок и подготовить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Задание на лабораторную работу.

Принципиальная схема соединения резисторов с указанием номинальных значений элементов.

Марка, инвентарный номер, основные параметры и характеристики измерительного прибора.

Протокол наблюдений, заверенный преподавателем. Системы условных, линеаризованных и нормальных уравнений. Значения весовых коэффициентов g , обеспечивающих равную точность условных уравнений.

Результаты расчетов на ЭВМ (уточненные значения сопротивлений и их средние квадратические погрешности).

Таблица поправок к измерительному прибору.

Вопросы для самопроверки

1. В чем различие совместных и совокупных измерений, как это различие отражается на алгоритме обработки?
2. Как должны записываться результаты совместных измерений?
3. Дайте определение понятий «условное уравнение», «невязка», «нормальное уравнение».
4. Каким образом и с какой целью определяются весовые коэффициенты условных уравнений?
5. Укажите, какие методы решения экстремальных задач Вам известны? Сформулируйте необходимое и достаточное условия существования экстремума (минимума и максимума) многомерной функции.
6. Назовите причины, по которым обработку результатов совместных и совокупных измерений осуществляют, как правило, используя метод наименьших квадратов. Какие основные недостатки метода Вы можете назвать?
7. Какие численные методы решения систем нелинейных уравнений Вам известны?
8. Приведите примеры использования совместных и совокупных измерений в метрологической практике.
9. Дайте определение понятий «линеаризация нелинейного уравнения», укажите методы решения данной задачи.

Проведение виртуального эксперимента выполнения лабораторной работы

Программа, в которой выполняется данная работа, была создана в среде LabVIEW 6.0. Для её использования необходимо, чтобы на Вашем компьютере была установлена среда LabVIEW версии не ниже 6.0.1. ([LVRunTimeEng](#)).

Запустив файл с лабораторными работами ([labor.exe](#)), Вы увидите окно настроек (рис. 7.12).

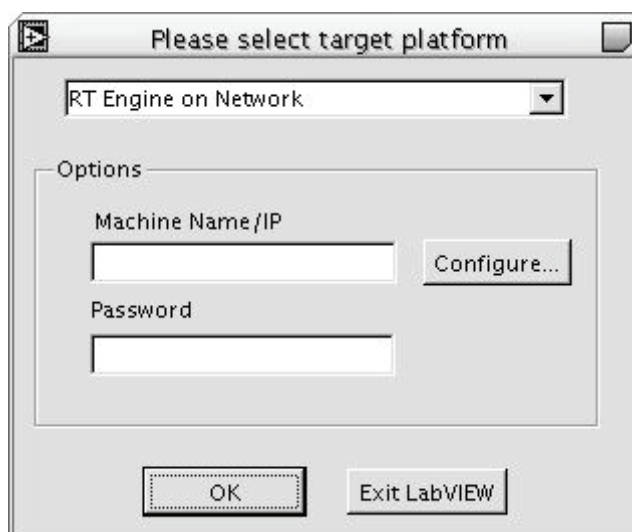


Рис. 7.12. Окно настроек

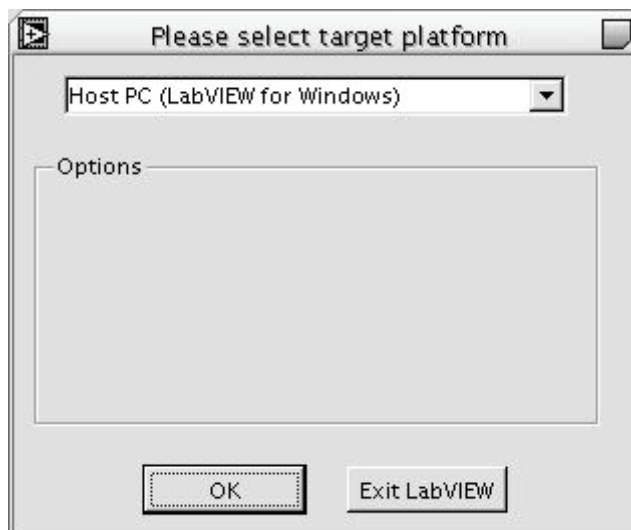


Рис. 7.13. Окно программы

В верхней его строчке вместо RT Engine on Network нужно выбрать Host PC(LabVIEW for Windows) и нажать клавишу OK.

Вы увидите основное окно программы (рис. 7.13). Перед запуском расчета Вам нужно выбрать номер варианта схемы, вариант резисторов, погрешность измерительного устройства (рис. 7.14–7.16).

И только потом для запуска расчета следует нажать кнопку Run.

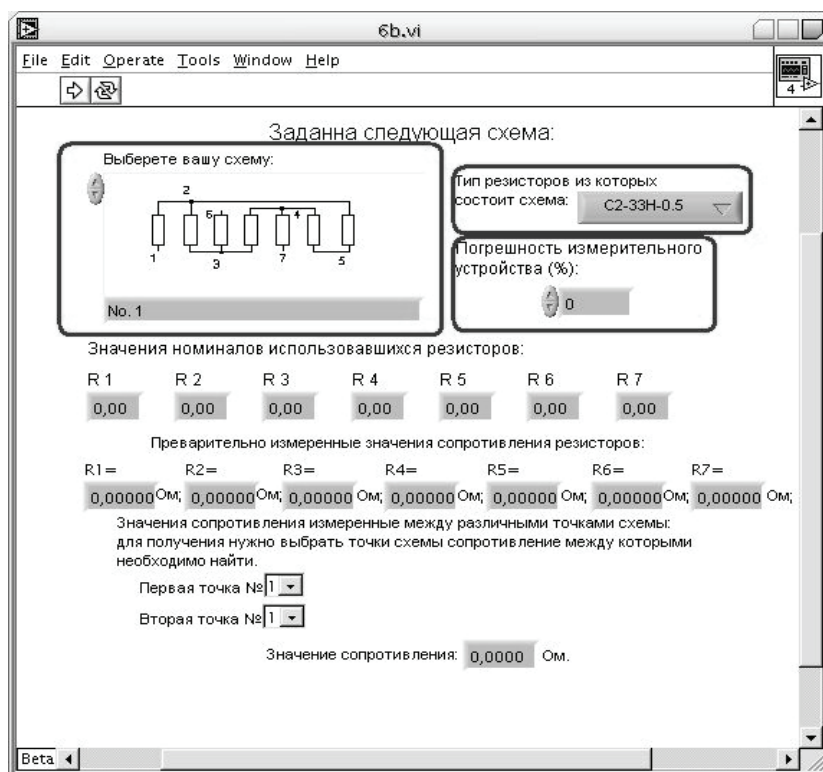


Рис. 7.14. Схема расчета 1

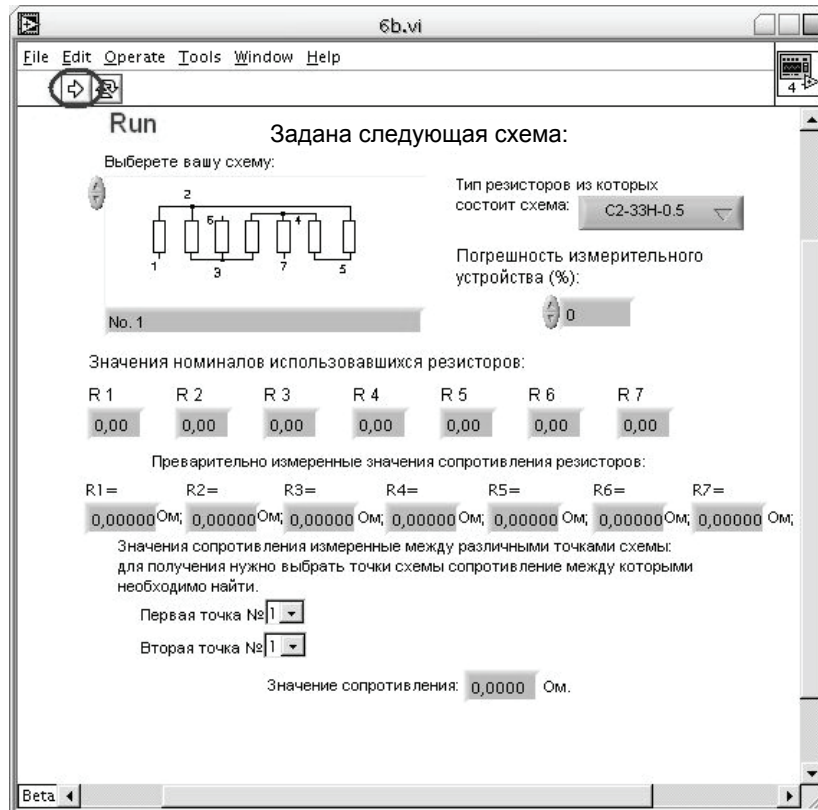


Рис. 7.15. Схема расчета 2

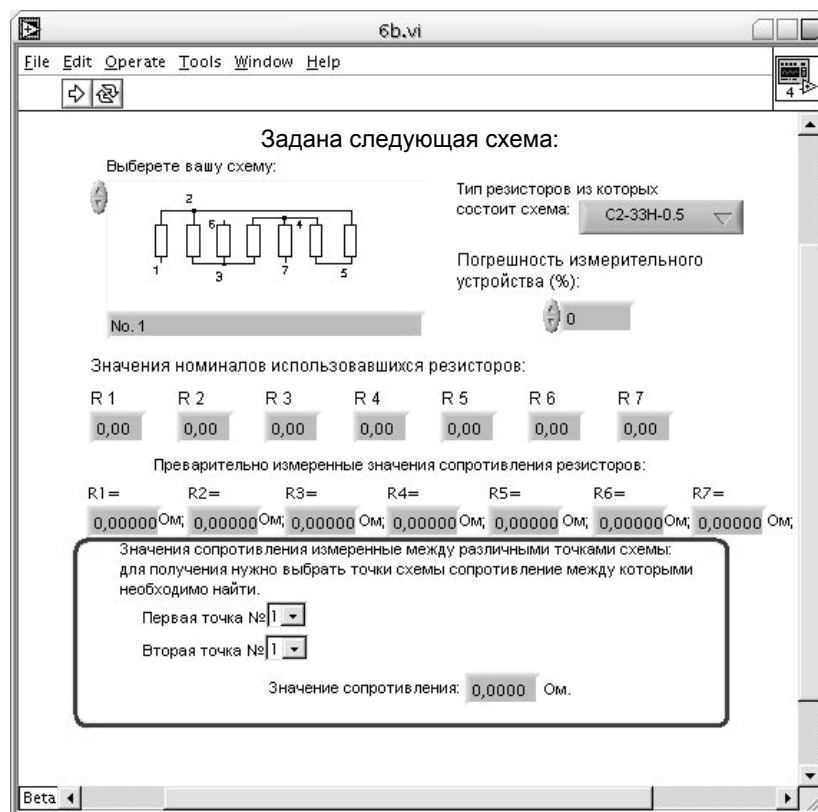


Рис. 7.16. Схема расчета 3

Программа сгенерирует значения резисторов. Для получения сопротивления между различными точками схемы выберите эти точки и запишите результат.

После перебора всех комбинаций точек выйдите из программы. Для расчета новых вариантов программу нужно запустить заново.

Лабораторная работа № 4

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Цели и задачи работы: изучение правил организации и порядка проведения поверки средств измерения. Ознакомление с методами поверки, примерами построения поверочных схем, методами определения межповерочных интервалов.

Краткие теоретические сведения

Поверкой средств измерений называют совокупность действий, выполняемых для определения и оценки погрешностей средств измерений. Цель поверки – выяснить, соответствуют ли точностные характеристики приборов значениям, указанным в технической документации, и пригодно ли средство измерения к применению. Вид поверки определяют в зависимости от того, какой метрологической службой проведена поверка, от характера поверки (инспекционная, экспертная), этапа работы средства измерений (первичная, периодическая, внеочередная). Организацию и поверку средств измерений проводят согласно ГОСТ 8.002–86 и ГОСТ 8.513–84.

Государственную поверку проводят территориальные органы Комитета Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарта России) – центры стандартизации, метрологии и сертификации. Государственной поверке подлежат средства измерений, применяемые в качестве исходных образцов при проведении государственных испытаний и метрологической аттестации, градуировке и поверке на предприятиях, выпускаемые в обращение из производства или после ремонта, и многие другие. Конкретная номенклатура средств измерений, подлежащих обязательной государственной поверке, утверждается Госстандартом России.

Ведомственной поверке подлежат средства измерений, не указанные в перечне средств измерений, подлежащих обязательной государственной поверке, например средства контроля режимов технологических процессов деталей, узлов готовой продукции.

В зависимости от того, на каком этапе эксплуатации средств измерений проводят поверку, она может быть:

первичной – которой подвергаются все средства измерений после изготовления, а также все средства измерений после ремонта;

периодической – которую проводят при эксплуатации и хранении средств измерений через определенные межповерочные интервалы, установленные при проведении государственных приемочных испытаний;

внеочередной – которую проводят при эксплуатации и хранении средств измерений с целью установления их исправности вне зависимости от сроков периодической поверки в соответствии с определенными требованиями НТД на методы и средства поверки.

Методы поверки средств измерений

В основу классификации применяемых методов поверки положены следующие признаки, в соответствии с которыми средства измерений могут быть поверены:

непосредственное сличение поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида без использования компаратора (прибора сравнения);

сличение поверяемого средства измерений с образцовым средством измерения того же вида с помощью компаратора;

прямое измерение поверяемым измерительным прибором величины, воспроизводимой образцовой мерой;

прямое измерение образцовым измерительным прибором величины, воспроизводимой подвергаемой поверке мерой;

косвенное измерение величины, воспроизводимой мерой или измеряемой прибором, подвергаемым поверке.

Метод непосредственного сличения двух средств измерений без применения компарирующих или каких-либо других промежуточных приборов

Этот метод широко применяется при поверке различных средств измерений. Например, в области электрических и магнитных измерений этот метод используют при определении метрологических характеристик измерительных приборов непосредственной оценки, предназначенных для измерения тока, напряжения, частоты и т. д.; в области измерения механических величин, в частности давления. Основой метода служит одновременное измерение одного и того же значения физических величин X аналогичными по ро-

ду измеряемой величины поверяемым и образцовым приборами. При поверке данным методом устанавливают требуемое значение X , затем сравнивают показания поверяемого прибора X с показаниями X_0 образцового и определяют разность $\Delta = X - X_0$. Разность равна абсолютной погрешности поверяемого прибора, которую приводят к нормированному значению X_n для получения приведенной погрешности:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_n} \cdot 100 \, \%.$$

Этот метод может быть реализован двумя способами:

1) регистрацией смещений. При этом показание индикатора поверяемого прибора путем изменения входного сигнала устанавливают равным поверяемому значению, а погрешность определяют как разность между показанием поверяемого прибора и действительным значением, определяемым по показаниям образцового прибора;

2) отсчётом погрешности по показанию индикатора поверяемого прибора. При этом номинальное значение размера физической величины устанавливают по образцовому прибору, а погрешность определяют как разность между номинальным значением и показанием поверяемого прибора.

Первый способ удобен тем, что дает возможность точно определить погрешность по образцовому прибору, имеющему, как правило, более высокую разрешающую способность.

Второй способ удобен при автоматической поверке, так как позволяет поверять одновременно несколько приборов с помощью одного образцового средства измерения. Недостатки этого способа: нелинейность и недостаточная разрешающая способность поверяемых приборов. Достоинства метода непосредственных сличений: простота, отсутствие необходимости применения сложного оборудования и др.

Метод сличения поверяемого средства измерений с образцовым средством измерений того же вида с помощью компаратора (прибора сравнения) заключается в том, что в ряде случаев невозможно сравнить показания двух приборов, например вольтметров, если один из них пригоден для измерений только в цепях постоянного тока, а другой – переменного; нельзя непосредственно сравнить размеры мер магнитных и электрических величин. Измерение этих величин выполняют введением в схему поверки некоторого промежу-

точного звена – компаратора, позволяющего косвенно сравнивать две однородные или разнородные физические величины. Компаратором может быть любое средство измерения, одинаково реагирующее на сигнал образцового и поверяемого средства измерений.

При сличении мер сопротивления, индуктивности, емкости в качестве компараторов используют мосты постоянного или переменного тока, а при сличении мер сопротивления и ЭДС – потенциометры.

Сличение мер с помощью компараторов осуществляют методами противопоставления и замещения. Общим для этих методов поверки средств измерений является выработка сигнала о наличии разности размеров сравниваемых величин. Если этот сигнал подбором, например, образцовой меры или принудительным изменением ее размера будет сведен к нулю, то это нулевой метод. Если же на входе компаратора при одновременном воздействии размеров сличаемых мер измерительный сигнал указывает на наличие разности сравниваемых размеров, то это дифференциальный метод.

Применение в ходе поверки метода противопоставления позволяет уменьшить воздействие на результаты поверки влияющих величин ввиду того, что они практически одинаково искажают сигналы, подаваемые на вход компаратора.

Достоинства метода замещения заключаются в последовательном во времени сравнении двух величин. То, что эти величины включаются последовательно в одну и ту же часть компаратора, повышает точность измерений по сравнению с другими разновидностями метода сравнения, где несимметрия цепей, в которые включаются сравниваемые величины, приводит к возникновению систематической погрешности. Недостаток нулевого метода замещения – необходимость иметь средство измерений, позволяющее воспроизводить любое значение известной величины без существенного понижения точности. Особенностью дифференциального метода при проведении измерений и, в частности, поверки является возможность получения достоверных результатов сличения двух средств измерений даже при применении сравнительно грубых средств для измерения разности. Вместе с тем реализация этого метода требует наличия высокоточной образцовой меры с номинальным значением, близким к номинальному значению сличаемой меры.

Метод прямого измерения. Этот метод предъявляет к мерам, используемым в качестве образцовых средств измерений, ряд специфических требований. Наиболее характерными из них являются: возможность воспроизведения мерой той физической величины, в единицах которой градуировано пове-

ряемое средство измерений; достаточный для перекрытия всего диапазона измерений поверяемого средства измерений диапазон физических величин, воспроизводимых мерой; соответствие точности меры, а в ряде случаев ее типа и плавности изменения размера требованиям, оговариваемым в НТД на методы и средства поверки средств измерений данного вида.

Как и при поверке методом непосредственного сличения, определение основной погрешности поверяемого средства измерений проводят двумя рассмотренными ранее способами.

Реализовать первый способ, обладающий рядом преимуществ, можно только при наличии магазина мер, позволяющего достаточно точно плавно изменять воспроизводимую или физическую величину. В ряде случаев непосредственно измерить размер меры поверяемым средством измерения некоторую промежуточную величину, которую, в свою очередь, непосредственно сопоставляют со значением образцовой меры. Например, поверка вольтметров сличением их показаний с мерой ЭДС с помощью потенциометра постоянного тока.

Широкое применение метод прямых измерений находит при поверке мер электрических и магнитных величин. Особенно он эффективен при поверке мер ограниченной точности.

Метод косвенных измерений величины, воспроизводимой мерой или измеряемой прибором. При реализации этого метода о действительном размере меры и измеряемой поверяемым прибором величины судят на основании прямых измерений нескольких величин, связанных с искомой величиной определенной зависимостью. Метод применяется тогда, когда действительные значения величин, воспроизводимые или поверяемые поверяемым средством измерений, невозможно определить прямым измерением или когда косвенные измерения более просты или более точны по сравнению с прямыми.

На основании прямых измерений и по их данным выполняют расчет. Только расчетом, основанным на определенных зависимостях между искомой величиной и результатами прямых измерений, определяют значение величины, т. е. находят результат косвенного измерения. Например, определяют систематическую составляющую относительной погрешности электрического счетчика активной энергии с помощью ваттметра и секундомера. Погрешность поверяемого счетчика, %, находят по формуле

$$\sigma = \frac{W_n - W_0}{W_0} \cdot 100 \%,$$

где W_0 – действительное значение электрической энергии по показаниям образцовых приборов; W_n – значение электрической энергии по показаниям поверяемого счетчика. Для определения W_n необходимо знать постоянную счетчика C , которую обычно не указывают. Но на счетчике указано число оборотов диска A , соответствующее энергии 1 кВт · ч. Постоянная $C = \frac{3600 \cdot 1000}{A}$ [Вт · с/об], а измеренная поверяемым счетчиком энергия $W_n = CN$. Если по показаниям образцового ваттметра установить действительное значение мощности P_0 и поддерживать ее неизменной в течение времени t_0 , определяемого по образцовому секундомеру, то действительное значение энергии W_0 можно определить расчетом по формуле $W_0 = P_0 \cdot t_0$. В практике поверки для расчета погрешности чаще применяют формулу

$$\sigma = \frac{t_n - t_0}{t_0} \cdot 100 \%,$$

где t_n – нормальное время поверяемого счетчика, т. е. время, за которое диск правильно работающего счетчика должен сделать N оборотов при заданной мощности P ; P – показание (сумма показаний) образцовых ваттметров, Вт. Число оборотов N выбирают таким, чтобы при данной мощности P показание секундомера t было не менее 50 с, а относительная погрешность измерения времени не превышала допускаемой:

$$t_n = \frac{C \cdot N}{P} = \frac{360 \cdot 100 \cdot N}{A \cdot P}.$$

При поверке счетчика методом косвенного измерения энергии образцовым ваттметром и секундомером суммарная погрешность образцовых средств измерений складывается из погрешностей образцовых ваттметра и трансформатора тока, погрешности секундомера и субъективных погрешностей, вызванных ошибками поверителя при пуске и остановке секундомера. Последняя достигает 0,3 с, т. е. при времени измерения $t = 50$ с составляет 0,6 %. Следовательно, по сравнению с составляющими погрешности: ваттметра 0,2–0,3 %; трансформатора тока 0,1 %; секундомера 0,1–0,2 %, ошибка поверителя существенно влияет на точность показаний, а поэтому ГОСТ 8.259–77

предусматривает, что при каждой нагрузке должно быть выполнено два наблюдения, дважды отсчитано число оборотов, измерено время двумя секундомерами.

За действительное значение времени для данной нагрузки принимают среднее арифметическое двух наблюдений. Если значение погрешности счетчика, определенное по результатам двух наблюдений, близко к предельно допускаемому, то проводят дополнительно два наблюдения при данной нагрузке и вычисляют среднее арифметическое четырех наблюдений, которое и является окончательным. Таким образом, при выполнении поверки методом косвенных измерений величин, измеряемых поверяемыми приборами или воспроизводимых подвергаемыми поверке мерами, следует учитывать тот факт, что конечный результат косвенного измерения всегда отягощен составляющими погрешностями прямых измерений.

Независимая поверка. Необходимость в независимой (автономной) поверке, т. е. поверке без применения образцовых средств измерений, возникает при разработке особо точных средств измерений, которые не могут быть поверены ни одним из рассмотренных методов ввиду отсутствия еще более точных средств измерений с соответствующими пределами измерения. Сущность метода независимой (автономной) поверки, наиболее часто реализуемого при поверке приборов сравнения, заключается в сравнении величин, воспроизводимых отдельными элементами схем поверяемого средства измерений, с величиной, выбранной в качестве опорной и конструктивно воспроизводимой в самом поверяемом средстве измерений (совместные и совокупные измерения). Например, при поверке m -й декады потенциометра необходимо убедиться в равенстве падений напряжений на каждой n -й ступени этой декады. Для этого, выбрав в качестве опорной величины сопротивление первой ступени декады, можно с помощью компаратора поочередно сравнивать падения напряжения на каждой n -й ступени с падением напряжения на этом сопротивлении.

Переход от поверки предыдущей декады к последующей осуществляется сравнением падения напряжения на сумме всех ступеней последующей декады с номинально одинаковым падением напряжения на второй ступени предыдущей декады. Метод трудоемок, но не позволяет определять поправки с высокой точностью непосредственно на месте эксплуатации поверяемого средства измерений, что способствует эффективности контроля его метрологических характеристик.

Реализация методов поверки осуществляется комплектной или поэлементной поверкой.

При комплектной поверке средство измерений поверяют в полном комплекте его составных частей, без нарушения взаимосвязи между ними. Погрешности, которые при этом определяют, рассматривают как погрешности, свойственные поверяемому средству измерений как единому целому. При этом средство измерений находится в условиях, максимально приближенных к реальным условиям эксплуатации, что позволяет в ходе поверки попутно выявить многие, присущие поверяемому средству измерений недостатки: дефекты внутреннего монтажа, неисправности переключающих устройств и т. п. С учетом простоты и хорошей достоверности результатов комплектной поверке всегда, когда это возможно, отдают предпочтение.

В случае невозможности реализации комплектной поверки, ввиду отсутствия образцовых средств измерений, несоответствия их требованиям точности или пределам измерений, применяют поэлементную поверку.

Поэлементная поверка средства измерений – это поверка, при которой его погрешности определяют по погрешностям отдельных частей. Затем по полученным данным расчетом определяют погрешности, свойственные поверяемому средству измерений как единому целому. При этом предполагают, что закономерности взаимодействия отдельных частей средства измерений точно известны, а возможности посторонних влияний на его показания исключены или поддаются точному учету. Область применения поэлементной поверки обширна и в ряде случаев оказывается единственно возможной.

Весьма широко поэлементную поверку используют при поверке сложных средств измерений, состоящих из компаратора со встроенными в него образцовыми мерами. Следует особо отметить, что по результатам поэлементной поверки, если действительная погрешность превышает допускаемую, можно непосредственно установить причину неисправности средств измерений. Существенным недостатком поэлементной поверки является ее трудоемкость и сложность реализации по сравнению с комплексной поверкой.

Поверочные схемы

Поверочные схемы – это документ, определяющий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Различают государственные (рис. 7.17), ведомственные и локальные поверочные схемы, создание и реализацию которых определяет ГОСТ 8.061–80.

При разработке поверочной схемы необходимо обосновать оптимальность ее структуры (методы поверки, виды вторичных эталонов, число разрядов образцовых средств измерений и т. д.). При этом следует подобрать оптимальные соотношения погрешностей поверяемого и образцового приборов, учесть вероятности признания годными неисправных приборов и т. д.

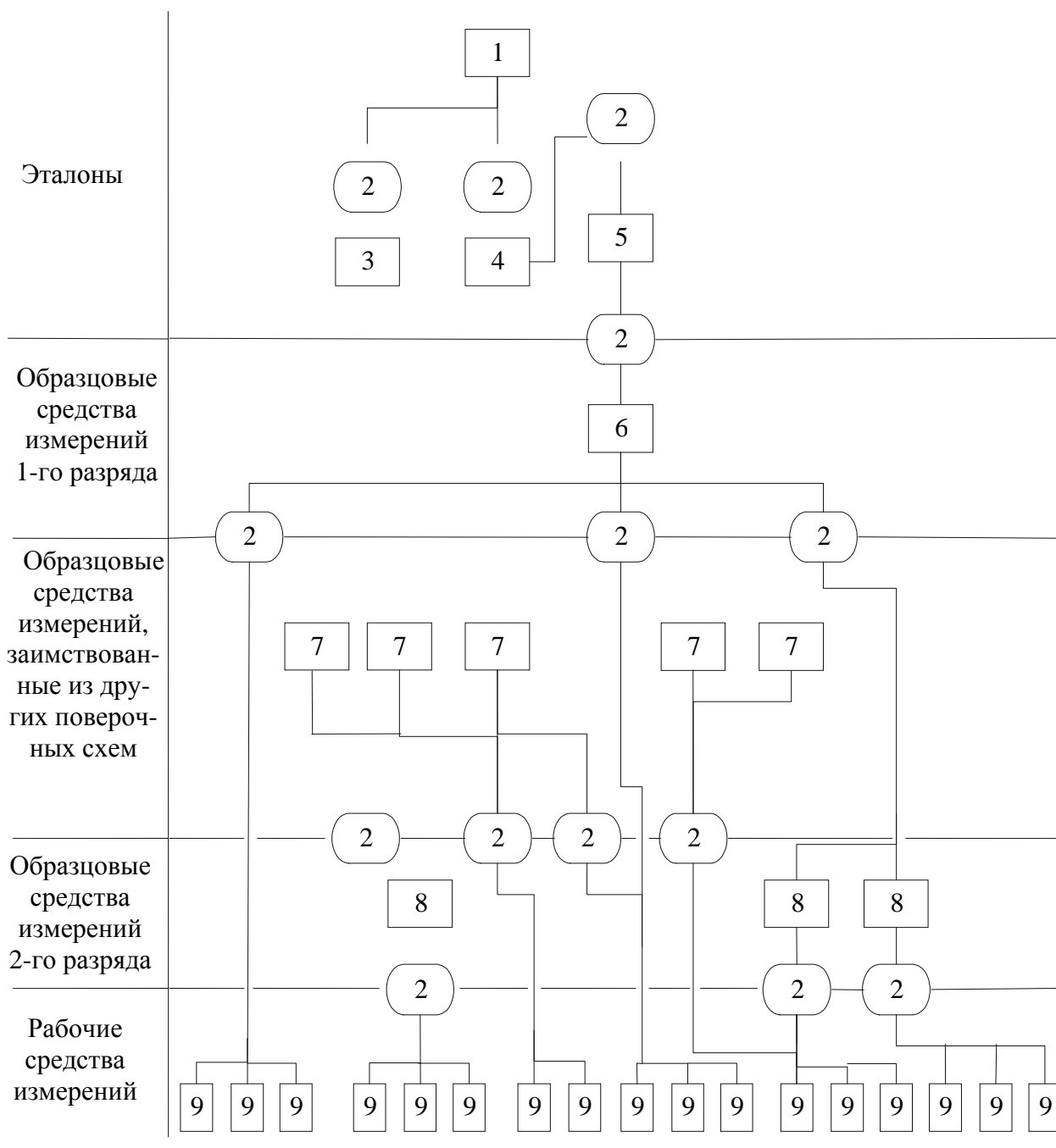


Рис. 7.17. Государственная поверочная схема

Поверочные схемы оформляют в виде чертежа, на котором указывают наименования средств измерений и методов поверки, номинальные значения или диапазоны значений физических величин, средств измерений и методов поверки. Чертеж дополняют текстовой частью.

Чертеж должен состоять из полей, расположенных друг над другом и разделенных штриховыми линиями, число которых зависит от структуры поверочной схемы. Поля должны иметь наименования, указываемые в левой части чертежа, отделенной вертикальной сплошной линией.

В верхнем поле чертежа государственной поверочной схемы, возглавляемой государственным эталоном, указывают наименования эталонов в порядке их соподчиненности. В верхнем поле чертежа ведомственной или локальной поверочной схемы указывают наименования эталона или локальной поверочной схемы.

Для средств измерений производных величин, единицы которых воспроизводят методом косвенных измерений, в верхнем поле чертежа указывают наименования образцовых средств измерений, применяемых для воспроизведения данной единицы и заимствования из других государственных поверочных схем. Наименования этих образцовых средств измерений должны быть даны со ссылками на соответствующие поверочные схемы. Номинальные значения или диапазоны значений физических величин и значения их погрешностей указывают над наименованиями эталонов и образцовых средств измерений:

- 1 – государственный эталон;
- 2 – метод передачи размера единицы;
- 3 – эталон сравнения (для международных сличений);
- 4 – эталон-копия;
- 5 – рабочий эталон;
- 6, 8 – образцовые средства измерений соответствующих разрядов;
- 7 – образцовые средства измерений, заимствованные из других поверочных схем;
- 9 – рабочие средства измерений.

Под полем эталонов располагают поле образцовых средств измерений 1-го разряда и далее поля подчиненных образцовых средств измерений. В тех поверочных схемах, где должна быть показана передача размера единицы от образцовых средств измерений, заимствованных из других поверочных схем, их наименования помещают в специально отведенном поле. В ведомственных

и локальных поверочных схемах указывают разряды образцовых средств измерений, соответствующие присвоенным этим средствам измерений в государственных поверочных схемах. Под наименованиями образцовых средств измерений показывают диапазоны измерений и значения погрешностей средств измерений. Поле рабочих средств измерений помещают под полем подчиненного образцового средства измерений. Слева направо в порядке возрастания погрешности в нем располагают группы рабочих средств измерений, поверяемых по образцовым средствам одного наименования. Для каждой группы указывают вид, диапазон измерений и значения погрешностей средств измерений.

Погрешности эталонов характеризуют в соответствии с требованиями ГОСТ 8.057–80, погрешности образцовых средств измерений – пределом допускаемой погрешности средств измерений при соответствующей доверительной вероятности 0.90, 0.95 или 0.99, метрологические характеристики и, в частности, погрешности рабочих средств измерений – пределом допускаемой погрешности средств измерений. Формы выражения погрешности образцовых и рабочих средств измерений в одной поверочной схеме должны быть одинаковыми.

В поверочных схемах наименования средств измерений, их номинальные значения или диапазоны значений физических величин и погрешности соответствуют: для эталонов – требованиям ГОСТ 8.372–80; для образцовых средств измерений – государственным стандартам на технические требования или свидетельству об их метрологической аттестации; для рабочих средств измерений – государственным стандартам на технические требования к этим средствам. Наименования и обозначения физических величин и их единиц указывают в соответствии с ГОСТ 8.417–81.

На поверочной схеме также указывают один из методов поверки средств измерений: непосредственного сличения или сличения при помощи компаратора или других средств сравнения; прямых, косвенных, совместных или совокупных измерений.

На чертеже поверочной схемы наименование государственного эталона заключают в прямоугольник, образованный двойной линией, а вторичные эталоны, образцовые и рабочие средства измерений – в прямоугольники, образованные одинарной линией. Наименование методов поверки помещают в горизонтальные овалы между наименованиями поверяемого и образцового средства измерений.

Локальная поверочная схема формируется в соответствии с вышеизложенными требованиями.

Определение межповерочных интервалов для средств измерений – это функция организаций, проводящих их поверку. Рекомендуется устанавливать межповерочные интервалы либо в часах наработки, либо в календарном времени (в месяцах), используя следующий ряд чисел: 1; 1.5; 2; 3; 4; 5; 9; 12; 18; 24 и 36. Определение межповерочных интервалов рекомендуется производить на основе статистической обработки, интерполяции данных, накопленных в период эксплуатации, и поверки средств измерений. В случае отказа средств измерений их направляют в ремонт и на последующую поверку независимо от установленного межповерочного интервала.

Для определения межповерочных интервалов средств измерений обрабатывают статистические данные по основным показателям надежности в конкретных условиях эксплуатации, которыми являются: вероятность безотказной работы в течение определенного промежутка времени t (межповерочного интервала) \tilde{P}_i ; интенсивность отказов λ_1 ; наработка на отказ T_0 .

Накопление статистической информации осуществляют метрологические службы предприятий для изучения и определения межповерочных интервалов.

При определении межповерочных интервалов средств измерений выполняют следующие операции:

формируют «однородные» группы средств измерений;

назначают первый межповерочный интервал для каждой группы средств измерений;

собирают и обрабатывают статистическую информацию о поведении средств измерений каждой «однородной» группы в конкретных условиях эксплуатации в течение назначенного межповерочного интервала и определяют статистические данные по показателям надежности;

оценивают правильность ранее назначенного межповерочного интервала и, в случае необходимости, его корректируют (увеличивают или уменьшают интервал);

собирают и обрабатывают статистическую информацию о поведении каждой «однородной» группы в конкретных условиях коммутации и оценивают правильность ранее назначенного межповерочного интервала после каждой периодической поверки всех средств измерений «однородной» группы на протяжении всего периода их эксплуатации.

«Однородные» группы средств измерений формируют из не менее чем 30 шт. на основании общности следующих факторов: показателей надежности (типа, назначения, завода-изготовителя, года выпуска, класса точности, наличия вибрации и т. д.); интенсивности эксплуатации; допускаемой вероятности безотказной работы.

Первый межповерочный интервал (как и скорректированные), если известны значения показателей надежности, устанавливают расчетом – один для всех средств измерений, входящих в «однородную» группу. Если полностью отсутствуют какие-либо исходные данные о числовых значениях показателей надежности, то первый межповерочный интервал принимают равным периодичности проверок, установленных в настоящий момент на предприятии.

Расчет межповерочных интервалов по показателям надежности производят двумя методами – по λ_1 или T_0 .

По λ_1 межповерочные интервалы рассчитывают в тех случаях, когда по каким-либо причинам затруднен учет времени наработки. В этом случае первый межповерочный интервал при принятом экспоненциальном законе распределения времени безотказной работы определяют по формуле

$$t_1 = \frac{1}{\lambda_1} \cdot \ln P_{\text{доп}},$$

где t_1 – первый межповерочный интервал; λ_1 – интенсивность отказов; $P_{\text{доп}}$ – допускаемая вероятность безотказной работы ($P_{\text{доп}} = 1 - Q_{\text{доп}}$, где $Q_{\text{доп}}$ – допускаемая вероятность отказа).

Допускаемую вероятность безотказной работы $P_{\text{доп}}$ для рабочих средств измерений выбирают в пределах 0,85–0,99 в зависимости от степени ответственности измерений. Для ответственных измерений, например измерений выходных параметров основных изделий, рекомендуется принимать $P_{\text{доп}}$ в пределах 0,95–0,99.

Значение $P_{\text{доп}}$ определяют при отработке конкретного технологического процесса, а также при анализе его экономической эффективности. Для средств измерений, не участвующих непосредственно в технологическом процессе, значение $P_{\text{доп}}$ устанавливает метрологическая служба предприятия.

Если имеются сведения о значении показателя T_0 , то расчет межповерочного интервала производят по формуле

$$t_1 = -T_0 \cdot \ln P_{\text{доп}}.$$

Накопление (сбор) статистической информации осуществляют с целью определения количественных значений показателя надежности и установления количества забракованных средств измерений n_i от общего количества однородной группы N_i в течение межповерочного интервала t . При обработке статистических данных учитывают только «скрытые» отказы, выявленные при очередной поверке, которые не могут быть обнаружены при эксплуатации средств измерений. К ним относятся погрешность, вариация, нестабильность нуля и т. п. Явные отказы, т. е. когда отказ можно обнаружить без поверки, при расчетах учитывать не следует.

После поверки всех средств измерений «однородной» группы производят обобщение информации и расчет показателей надежности. Статистические значения вероятности безотказной работы P_i , интенсивности отказов λt и наработки на отказ T_0 определяют по формуле

$$\hat{P}_i = \frac{\hat{N}_i - n_i}{N_i};$$

$$\lambda t = \frac{1 - P_i}{t_1} = \frac{n_i}{t_1 \cdot N_i};$$

$$T_0 = \sum_{i=0}^N \frac{T_{0i}}{N_i},$$

где N_i – количество средств измерений «однородной» группы; n_i – количество средств измерений, забракованных по «скрытым» отказам в течение межповерочного интервала t ; T_{0i} – наработка на отказ i -го средства измерений в «однородной» группе. Результаты расчета по формулам заносят в табл. 7.1.

Таблица 7.1

Результаты расчета

Номер группы	Наименование средств измерений, тип и характеристика	Количество средств измерений «однородной» группы	Количество отказавших средств измерений	Вероятность безотказной работы	Интенсивность отказов	Примечание

Наработку на отказ каждого средства измерений определяют отношением суммарной наработки средств измерений к количеству «скрытых» отказов:

$$T_{0i} = \sum_{i=1}^n \frac{\tau}{n_i},$$

где T_{0i} – наработка, т. е. время исправной работы между $(i - 1)$ и i -ми отказами (принимают, что «скрытый» отказ произошел в середине межповерочного интервала; n_i – количество «скрытых» отказов для данного средства измерения).

Учет данных об отказах осуществляют по формам, приведенным в табл. 7.2, 7.3.

Таблица 7.2

Учет данных об отказах

Завод-изготовитель	Заводской номер	Год выпуска	Тип или система	Пределы измерения	Класс точности, основная погрешность
.	№ 60328	1989	B3-20	0,0075–300	Не более 1,5

Таблица 7.3

Статистика отказов

Результаты поверки				Наработка между поверками		Наработка на отказ	Примечание
Дата очередной поверки	Годеи или брак	Отказ		Общая	Исправного прибора		
		Вид	Причина				
09.01.05	Годеи	—	—	—	—	—	Введен в эксплуатацию
25.08.05	Годеи	—	—	1100	1100	—	.
12.01.06	Годеи	—	—	620	620	—	.
10.08.06	Брак	Скры-тый	Погрешность допуска на пределе 100 В	1060	530	—	.
14.01.07	Годеи	—	—	610	610	—	.
23.03.07	Брак	Скры-тый	Погрешность допуска на пределе 300 В	680	340	1900	.
28.08.07	Годеи	—	—	660	660	—	.
01.11.07	Годеи	—	—	630	630	—	.
18.03.08	Брак	Скры-тый	Погрешность допуска на пределе 10 В	640	320	1810	.
27.09.08	Годеи	—	—	630	630	—	.

Оценку правильности ранее назначенного межповерочного интервала производят с доверительной вероятностью 0,80, используя следующее неравенство:

$$P_{\text{доп}} - 1,28 \sqrt{\frac{P_{\text{доп}} \cdot (1 - P_{\text{доп}})}{N_i}} < \hat{P}_i < P_{\text{доп}} + 1,28 \sqrt{\frac{P_{\text{доп}} \cdot (1 - P_{\text{доп}})}{N_i}},$$

где P_i^* – статистическое значение вероятности безотказной работы.

При выполнении этого соотношения межповерочный интервал оставляют до очередной поверки неизменным. Если отмеченное условие не выполняется, то корректируется очередной межповерочный интервал в соответствии с уравнением

$$t_2 = C \cdot t_1,$$

где C – коэффициент коррекции, $C = \ln P_{\text{доп}} / \ln P_i = \ln(1 - Q_{\text{доп}}) / \ln(1 - Q_i)$.

Зависимость коэффициента коррекции C от полученных статистических значений P_i^* при $P_{\text{доп}} = 0,85; 0,90; 0,95; 0,99$ приведена в табл. 7.4.

Таблица 7.4

Значения коэффициентов коррекции

$\frac{n_i}{N_i}$	C при $P_{\text{доп}}$				$\frac{n_i}{N_i}$	C при $P_{\text{доп}}$			
	0,85	0,90	0,95	0,99		0,85	0,90	0,95	0,99
0,01	16,20	10,500	5,100	1,000	0,26	0,54	0,348	0,169	
0,02	8,10	5,250	2,550	0,500	0,27	0,51	0,333	0,160	
0,03	5,40	3,500	1,700	0,330	0,28	0,49	0,320	0,155	
0,04	3,95	2,560	1,244	0,244	0,29	0,47	0,307	0,149	
0,05	3,18	2,058	1,00	0,196	0,30	0,45	0,294	0,142	
0,06	2,60	1,690	0,820	0,161	0,31	0,43	0,283	0,137	
0,07	2,24	1,450	0,708	0,138	0,32	0,42	0,272	0,132	
0,08	1,95	1,265	0,614	0,120	0,33	0,400	0,262	0,127	
0,09	1,72	0,117	0,540	0,106	0,34	0,389	0,252	0,122	
0,10	1,54	1,000	0,485	0,096	0,35	0,375	0,243	0,118	
0,11	1,39	0,940	0,439	–	0,36	0,363	0,235	0,114	
0,12	1,26	0,820	0,396	–	0,37	0,350	0,227	0,110	
0,13	1,16	0,755	0,367	–	0,38	0,338	0,219	0,106	
0,14	1,07	0,695	0,337	–	0,39	0,327	0,212	0,103	
0,15	1,00	0,648	0,315	–	0,40	0,317	0,205	0,099	
0,16	0,93	0,603	0,293	–	0,41	0,306	0,198	0,095	
0,17	0,87	0,564	0,274	–	0,42	0,297	0,192	0,093	
0,18	0,82	0,530	0,297	–	0,43	0,289	0,186	0,090	
0,19	0,76	0,497	0,241	–	0,44	0,279	0,181	0,087	
0,20	0,72	0,470	0,228	–	0,45	0,270	0,175	0,085	
0,21	0,65	0,444	0,216	–	0,46	0,262	0,170	0,082	
0,22	0,65	0,423	0,205	–	0,47	0,255	0,165	0,080	
0,23	0,62	0,402	0,195	–	0,48	0,247	0,160	0,077	
0,24	0,59	0,363	0,185	–	0,49	0,240	0,156	0,075	
0,25	0,56	0,364	0,177	–	0,50	0,233	0,151	0,073	

Пример 1. Для однородной группы средств измерений ($N_i = 100$ шт.), на основе показателя $\tilde{\lambda}_i$ необходимо назначить межповерочный интервал t_1 . Допускаемая вероятность безотказной работы $P_{\text{доп}} = 0,85$. Установленная при испытаниях интенсивность отказов аналогичных средств измерений

$$\lambda_i = 1/9 \cdot \text{год}^{-1}$$

Зная, что

$$t_1 = \ln P_{\text{доп}} / \lambda_i = -9 \ln 0,85 = 1,5. \quad (7.1)$$

Поскольку λ_i для приведенного расчета имела ориентировочное значение, то t_1 было принято равным одному году.

По истечении установленного срока ($t_1 = 1$ год) все средства измерений «однородной» группы были подвергнуты проверке, при этом из 100 шт. приборов было забраковано 20 шт., т. е. $N_i = 100$; $n_i = 20$.

Определяем статистическое значение:

$$\tilde{P}_i = (N_i - n_i) / N_i = (100 - 20) / 100 = 0,80. \quad (7.2)$$

Рассчитываем необходимость корректировки межповерочного интервала t :

$$0,85 - 1,28 \sqrt{\frac{0,85(1-0,85)}{100}} = 0,81 \leq P_i \leq 0,85 + 1,28 \sqrt{\frac{0,85(1-0,85)}{100}} = 0,89.$$

Статистическое значение $P_i^* = 80$ выходит за пределы полученных границ. Следовательно, первый межповерочный интервал ($t_1 = 1$ год) был назначен неверно и по результатам проведенной проверки подлежит коррекции.

Определяем коэффициент коррекции:

$$C = \ln P_{\text{доп}} / \ln P_i = \ln 0,85 / \ln 0,80 = 0,162 / 0,223 = 0,7.$$

Межповерочный интервал с учетом коэффициента коррекции находим по формуле

$$t_2 = t_1 \cdot C. \quad (7.3)$$

Взяв за основу полученный результат и проанализировав признаки, по которым производилось формирование группы, принимаем решение назначить $t_2 = 6$ мес.

Пример 2. Расчет на основе показателя T_0C . С учетом признаков, указанных ранее, сформирована «однородная» группа из следующих средств измерений: ВЗ-20 – 1 шт.; ВЗ-3 – 5 шт.; ВЗ-7 – 6 шт.; ВЗ-4 – 6 шт.

За время эксплуатации средств измерений проведен сбор статистической информации.

Наработка на отказ для ВЗ-20, ч, рассчитана по формуле

$$T_0 = (1100 + 620 + 530 + 610 + 340 + 660 + 630 + 320) / 3 = 1810.$$

Для других средств измерений «однородной» группы получены следующие значения наработки на отказ, ч: 1840, 1870, 1850, 1840, 1865, 1830, 190, 1850, 1820, 1860, 1875, 1860, 1850, 1800, 1845, 1870. Нарabотка на отказ для «однородной» группы, ч:

$$T_0 = (1810 + 1840 + 1870 + 1850 + 1840 + 1865 + 1830 + 1790 + 1850 + 1820 + 1860 + 1875 + 1860 + 1855 + 1800 + 1845 + 1870) / 19 = 1840.$$

Межповерочный интервал для «однородной» группы, ч,

$$t_1 = -1840 \cdot \ln 0,8 = -1840 \cdot (-0,223) = 410.$$

Поверка измерительных приборов

В зависимости от конструкции, назначения, технических возможностей и экономической целесообразности определяются метрологические характеристики, подлежащие контролю, и способ поверки. В ходе поверки устанавливают состояние и комплектность технической документации, в состав которой входят:

техническая документация по ГОСТ 2.601–78;

свидетельство о последней поверке;
электрическая схема соединений элементов;
перечни и значения метрологических характеристик;
методики измерения и расчета метрологических характеристик;
свидетельство по результатам метрологической аттестации.

После ознакомления с состоянием и комплектностью технической документации с учетом стадий выпуска из производства, эксплуатации, хранения и ремонта, а также вида поверки производят внешний осмотр, опробование и контроль (определение) метрологических характеристик.

Поверка в простейшем случае заключается в следующем: в соответствии с требованиями НТД на методы и средства поверки приборов на вход подают образцовые значения измеряемых величин; затем сравнивают результаты измерений на выходе поверяемого прибора с соответствующими поданными на вход прибора значениями образцового сигнала или показаниями образцового прибора, в результате чего определяют значения погрешности.

Определение метрологических характеристик поверяемого прибора производят с использованием статистических методов обработки значений погрешности измерительных приборов.

Порядок набора статистических данных и методы статистической обработки должны быть приведены в НТД на методы и средства поверки конкретного прибора.

На основании полученных данных анализируют результаты поверки и принимают решение о годности измерительного прибора для дальнейшего применения.

В случае положительных результатов поверки оформляют свидетельство на измерительный прибор, при отрицательных результатах оформляют извещение о непригодности измерительного прибора к эксплуатации.

Пример 3. Поверка измерительного генератора. Перед проведением поверки генератор включают в сеть, выдерживают в течение времени, необходимого для установления рабочего режима, и калибруют, в случае необходимости.

Образцовую измерительную аппаратуру выбирают в зависимости от пределов допускаемой погрешности поверяемого генератора.

Поверку прибора производят в нормальных климатических условиях:

Температура окружающего воздуха, °C	20±5
Температура для приборов повышенной точности, °C	20±2
Относительная влажность воздуха, %	30–80
Атмосферное давление, кПа (мм рт. ст.)	84–106 (630–795)
Напряжение питающей сети, В	220±4,4 (сети с частотой 50, 400 Гц)
Частота питающей сети, Гц	50; 400±12

Граничные частоты, запасы на краях поддиапазонов определяют визуально по отметкам шкалы генераторов и проверкой частоты генераторов в крайних положениях частотной шкалы для всех поддиапазонов.

Запас по частоте $\delta 1$ от граничной частоты в процентах рассчитывают по формуле

$$\delta 1 = \frac{100 \cdot (f_{\Gamma} - f_{\kappa})}{f_{\kappa}}, \quad (7.4)$$

где f_{Γ} – значение установленной частоты генератора, соответствующее границе поддиапазона, определяемое по отсчетному устройству генератора, Гц; f_{κ} – истинное значение частоты при установке шкалы частоты в крайних положениях, Гц.

Определяют основную погрешность установки частоты генератора методом прямого измерения частоты электронно-счетным частотомером.

Измерения производят на нескольких частотах диапазона (поддиапазона), указанных в технических условиях на генераторы конкретного типа при установке частоты по шкале со стороны больших и меньших значений. Абсолютная погрешность установки частоты δf , Гц,

$$\delta f = f_{\text{ном}} - f_{\text{изм}}, \quad (7.5)$$

где $f_{\text{ном}}$ – номинальное значение установленной частоты генератора по отсчетному устройству генератора, Гц; $f_{\text{изм}}$ – измеренное значение установленной частоты, Гц.

Относительная погрешность установки частоты $\delta 2$, %,

$$\delta 2 = \frac{100 \cdot (f_{\text{ном}} - f_{\text{изм}})}{f_{\text{изм}}}. \quad (7.6)$$

За погрешность установки частоты принимают максимальное значение погрешности.

Дополнительную погрешность установки частоты генератора, обусловленную изменением влияющих внешних факторов, определяют на частотах, указанных в технических условиях на генераторы конкретного типа.

Если генератор имеет устройство внутренней калибровки частоты, отсчет частоты производится после выполнения калибровки.

Дополнительная температурная погрешность определяется с помощью специальной камеры тепла и холода для предельных точек рабочего диапазона температур. За дополнительную температурную погрешность принимают максимальное из полученных значений.

Дополнительную температурную погрешность Δf на каждые 10 °С вычисляют по формуле

$$\Delta f_1 = \frac{10 \cdot (f_0 - f_1)}{(t - t_0)}, \quad (7.7)$$

где f_0 – истинное значение частоты, измеренное при нормальной температуре t_0 , Гц; f_1 – истинное значение частоты, измеренное при максимальной или минимальной температуре t , Гц.

Дополнительную погрешность установки частоты генератора, обусловленную изменением напряжения питания, определяют на частотах, указанных в технических условиях на генераторы конкретного типа, измерением частоты при номинальном, повышенном и пониженном напряжениях питания.

Время выдержки после каждого изменения напряжения питания должно указываться в технических условиях на генераторы конкретного типа.

Дополнительные погрешности $\Delta f'$ и Δf , Гц, вычисляют по формулам:

$$\Delta f' = f'_0 - f_{\text{пов}}, \quad (7.8)$$

$$\Delta f'' = f'_0 - f_{\text{пон}}, \quad (7.9)$$

где f'_0 – истинное значение частоты при номинальном напряжении питания, Гц; $f_{\text{пов}}$ – истинное значение частоты при повышенном напряжении питания, Гц; $f_{\text{пон}}$ – истинное значение частоты при пониженном напряжении питания, Гц.

За дополнительную погрешность принимают максимальное из полученных значений.

Нестабильность частоты генераторов определяют на частотах, указанных в техническом описании на прибор.

Измерения производят после времени установления рабочего режима генератора через каждые 1–3 мин в течение любых 3 ч работы.

Нестабильность частоты вычисляют как разность между наибольшим и наименьшим значениями частоты, измеренными в течение трех часов.

Задание для домашней работы

1. Изучите методики выполнения поверочных работ.
2. Ознакомьтесь с правилами оформления и содержанием поверочных схем.
3. Рассмотрите способы оценки параметров надежности средств измерения и примеры определения межповерочных интервалов.
4. Ознакомьтесь с предложенным вариантом задания по данной работе, выберите из рассмотренных методов поверки наиболее приемлемый для выполнения полученного задания и подготовьте обоснование выбора.

Порядок выполнения лабораторной работы

1. Получить у преподавателя вариант задания, в котором определены: рабочее средство измерения, поверяемый параметр или характеристика, требования к точности поверки и перечень образцовых средств измерения.
2. Ознакомиться с приборами, определенными вариантом задания для использования в эксперименте. Ознакомление следует начать с изучения технических описаний и инструкций по эксплуатации приборов, используемых при выполнении лабораторной работы. Особое внимание должно быть обращено на разделы, содержащие сведения о параметрах приборов, структуре и принципе действия, порядке подготовки каждого прибора к работе и работе с ним.
3. Разработать и представить преподавателю для проверки вариант методики выполнения поверки.
4. После получения допуска к работе подготовить рабочее место для проведения измерений. Пользуясь техническим описанием, выполнить операции по подготовке приборов к работе.

5. Убедиться в том, что режимы работы поверяемого и образцового приборов выбраны правильно, и приступить к поверке.

6. На заданном участке шкалы поверяемого прибора, имеющем M делений, установить указатель на первое деление и зафиксировать в протоколе результат наблюдения:

$\vec{x}_{i,1}$ – значения параметра, полученного с помощью образцового прибора; последовательно произвести установки указателя на каждое деление в отведенном диапазоне, определив значения \vec{x}_i , где $i = 1, \dots, M$;

перемещая указатель по шкале в противоположном направлении, начиная с последнего деления участка шкалы, вновь зафиксировать для каждого деления значение параметра \bar{x}_i , где $i = M, \dots, 1$;

последовательно повторить три раза перечисленные процедуры, сформировав два массива значений ($\vec{x}_{i,j}$ и $\bar{x}_{i,j}$), где символы \rightarrow и \leftarrow указывают направление движения по шкале поверяемого прибора, $j = 1, 2, 3$.

Выполнить предварительную обработку результатов наблюдений, используя расчетную формулу, определить выборочные средние:

$$\begin{aligned}\vec{X}_i &= \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \vec{x}_{i,j}, \\ \bar{X}_i &= \frac{1}{3} \sum_{j=1}^3 \bar{x}_{i,j};\end{aligned}\tag{7.10}$$

абсолютные погрешности установки i -х номинальных значений делений шкалы $X_{\text{ном } i}$:

$$\Delta X_{\text{дш } i} = X_{\text{ком } i} - \frac{1}{2}(\vec{X}_i + \bar{X}_i);\tag{7.11}$$

среднее значение гистерезиса для поверяемого участка шкалы:

$$\Delta_{\text{гис}} = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M (\vec{X}_i + \bar{X}_i);\tag{7.12}$$

найти несмещенную оценку среднего квадратического отклонения:

$$S^2 = \frac{M_k^2}{6M-1} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^3 [(\bar{x}_{i,j} + \bar{x}_i)^2 + (\bar{x}_{i,j} + \bar{x}_j)^2]. \quad (7.13)$$

Выполнить необходимые расчеты, составить таблицу поправок и подготовить отчет по лабораторной работе.

Содержание отчета

Задание на лабораторную работу с указанием типа поверяемого устройства, параметров, диапазона и внешних воздействий.

Структурная схема соединения поверяемого прибора, образцовых и вспомогательных средств измерения, используемых при поверке.

Виды и типы, инвентарные номера, основные параметры и характеристики используемых в работе средств измерения.

Протокол наблюдений, заверенный преподавателем.

Данные, полученные при обработке результатов наблюдений. Значения основных и дополнительных погрешностей поверяемого прибора.

Таблица и график поправок к поверяемому участку шкалы прибора. Результаты анализа экспериментальных данных: степень соответствия результатов нормативным требованиям, содержащимся в техническом описании на поверяемый прибор (заключение о годности); предложения по снижению влияния внешних воздействий и уменьшению погрешностей.

Вопросы для самопроверки

1. Дайте определение понятиям «поверка» и «аттестация» средства измерения. В чем основное различие этих понятий?
2. Приведите классификацию видов поверки.
3. Дайте определение понятиям «эталон», «образцовое средство измерения», «рабочее средство измерения», «поверочная схема».
4. Поясните содержание операций, определяемых терминами «сличение», «калибровка», «градуировка» и «юстировка».
5. Какие методы поверки Вам известны? Сформулируйте необходимое и достаточное условия реализации названных методов, укажите их достоинства и недостатки.
6. Как соотносятся погрешности поверяемых и образцовых средств измерения? Чем поверяется эталон?

7. От чего зависят и как определяются межповерочные интервалы для средств измерения?
8. Приведите примеры, когда периодическая поверка средств измерения не производится.
9. Дайте определение понятия «однородная группа средств измерения».
10. Назовите показатели надёжности средств измерения.
11. Объясните смысл выражения «метрологическая исправность средств измерения».
12. Что такое метрологический отказ средства измерения?
13. Поясните, какие условия поверки называются нормальными.
14. Назовите основные требования к помещениям, в которых должны проводиться поверочные работы.
15. Что такое сертификация продукции?
16. Предусмотрена ли действующими нормативными документами поверка средств измерений, применяемых для учебных целей?
17. Когда производится внеочередная поверка?

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Артемьев, Б. Г. Справочный учебник для работников метрологических служб / Б. Г. Артемьев, С. М. Голубев. – Т. 1. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 352 с.
2. Рабинович, С. Г. Погрешности измерений / С. Г. Рабинович. – Л. : Энергия, 1978. – 262 с.
3. Корн, Г. Справочник по математике / Г. Корн, Т. Корн. – М., 1977. – 832 с.
4. Перегудов, Ф. И. Основы системного анализа : учеб. – 3-е изд. / Ф. И. Перегудов, Ф. П. Тарасенко. – Томск : Изд-во НТЛ, 2001. – 396 с.
5. Электрические измерения неэлектрических величин. – Л. : Энергия, 1975. – 576 с.
6. Рыбаков, И. Н. Основы точности и метрологического обеспечения радиоэлектронных измерений / И. Н. Рыбаков. – М. : Изд-во стандартов, 1990. – 180 с.
7. Алексеева, Н. А. Измерения и погрешности : учеб. пособие / Н. А. Алексеева, Ю. В. Коловский. – Красноярск : КГТУ, 1996. – 148 с.
8. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений : учеб. для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. – М. : Высш. шк., 2002. – 206 с.
9. Белкин, И. М. Средства линейно-угловых измерений : справ. / И. М. Белкин. – М. : Машиностроение, 2001.
10. Дрейзин, В. Э. Метрология, стандартизация и технические измерения : учеб. пособие для студентов / Курск. гос. техн. ун-т. – Курск, 2003. – 300 с.
11. Исаенко, Л. С. Метрология, стандартизация и сертификация. Методики выполнения измерений : учеб. пособие / Л. С. Исаенко, Ю. В. Коловский, Ю. П. Саломатов. – Красноярск : ИПЦ КГТУ, 2006. – 248 с.

Приложение 1

Таблица П.1

Абсолютные и относительные погрешности типичных измеряемых функций

№ п/п	Выражение $y = f(x_1, \dots, x_n)$	Абсолютная погрешность измерения Δy	Относительная погрешность измерения $\Delta y/y$
1	$x_1 + x_2 + x_3 \dots$	$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 \dots$	$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots}{x_1 + x_2 + x_3 + \dots}$
2	$x_1 - x_2 - x_3 \dots$	$\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3$	$\frac{\Delta x_1 + \Delta x_2 + \Delta x_3 + \dots}{x_1 - x_2 - x_3 - \dots}$
3	$x_1 x_2 x_3 \dots$	$\Delta x_1 x_2 x_3 + x_1 \Delta x_2 x_3 + x_1 x_2 \Delta x_3$	$\frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \frac{\Delta x_3}{x_3} \dots$
4	$\frac{x_1 x_2 x_3}{x_a x_b x_c}$	$\frac{x_2 x_3 \dots}{x_a x_b x_c} \Delta x_1 + \frac{x_1 x_3 \dots}{x_a x_b x_c} \Delta x_2 + \dots$ $-\frac{x_1 x_2 x_3}{x_a^2 x_b x_c} \Delta x_0 - \frac{x_1 x_2 x_3 \dots}{x_a x_b^2 x_c} \Delta x_b -$	$\frac{\Delta x_1}{x_1} + \frac{\Delta x_2}{x_2} + \dots$ $-\frac{\Delta x_a}{x_a} - \frac{\Delta x_b}{x_b} - \dots$
5	a^x	$a \Delta x$	$\frac{\Delta x}{x}$
6	x^n	$n x^{n-1} \cdot \Delta x$	$\frac{n}{x} \Delta x$
7	$\sin x$	$\cos x \cdot \Delta x$	$\operatorname{ctg} x \cdot \Delta x$
8	$\cos x$	$-\sin x \cdot \Delta x$	$-\operatorname{tg} x \cdot \Delta x$
9	$\operatorname{tg} x$	$\frac{1}{\cos^2 x} \Delta x$	$\frac{2}{\sin 2x} \Delta x$
10	$\operatorname{ctg} x$	$-\frac{1}{\sin^2 x} \Delta x$	$-\frac{2}{\sin 2x} \Delta x$

Формулы приближенного расчета для небольших числовых значений $\alpha, \beta, \gamma, \delta \ll 1$

№ п/п	Выражение	Приближение
1	$(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta)$	$1 \pm \alpha \pm \beta$
2	$(1 \pm \alpha)^n$	$1 + n\alpha$
3	$\frac{(1 \pm \alpha)(1 \pm \beta)}{(1 \pm \gamma)(1 \pm \delta)}$	$1 \pm \alpha \pm \beta \pm \dots \mp \gamma \mp \delta \pm \dots$
4	$1/(1 \pm \alpha)$	$1 + \alpha$
5	$\sqrt{1 \pm \alpha}$	$1 \pm \alpha/2$
6	$\sqrt[n]{1 \pm n\alpha}$	$1 + \alpha$
7	$1/\sqrt{1 \pm \alpha}$	$1 \pm \alpha/2$
8	e^α	$1 + \alpha$
9	α^a	$1 + \alpha \ln a$
10	$\sin \alpha = tg \alpha$	α
11	$\cos \alpha$	1
12	$\sin(\varphi \pm \alpha)$	$\sin \varphi \pm \alpha \cos \varphi$
13	\sqrt{ab} для $a \approx b$	$(a+b)/2$

СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ ПОГРЕШНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

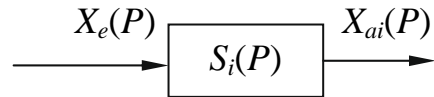


Рис. П.1. Измерительная система без указания погрешностей

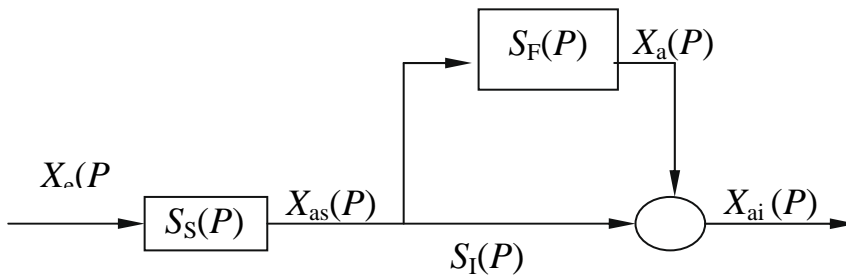


Рис. П.2. Измерительная система с указанием систематических погрешностей

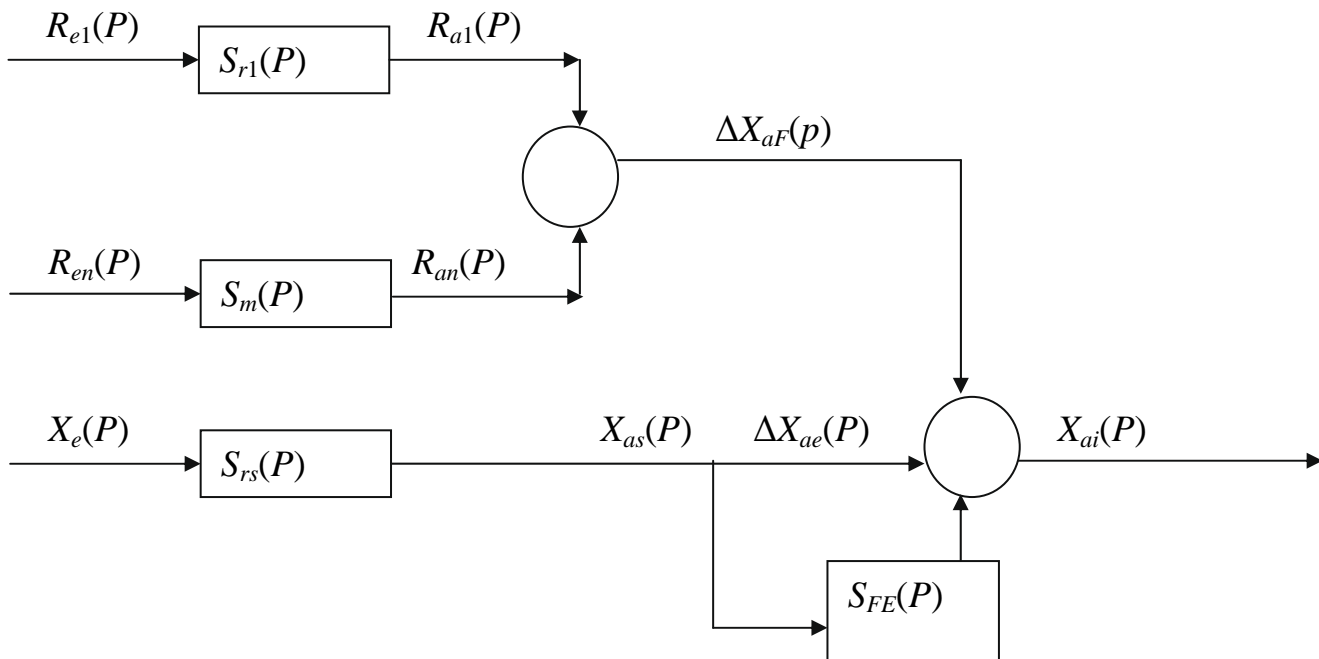


Рис. П.3. Измерительная система с подробным указанием систематических погрешностей

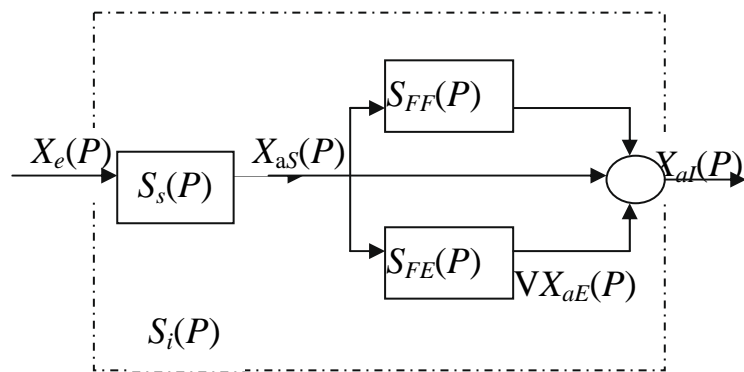


Рис. П.4. Измерительная схема с подробным указанием систематических погрешностей и с эквивалентной передаточной функцией погрешностей, вызванных внешними факторами

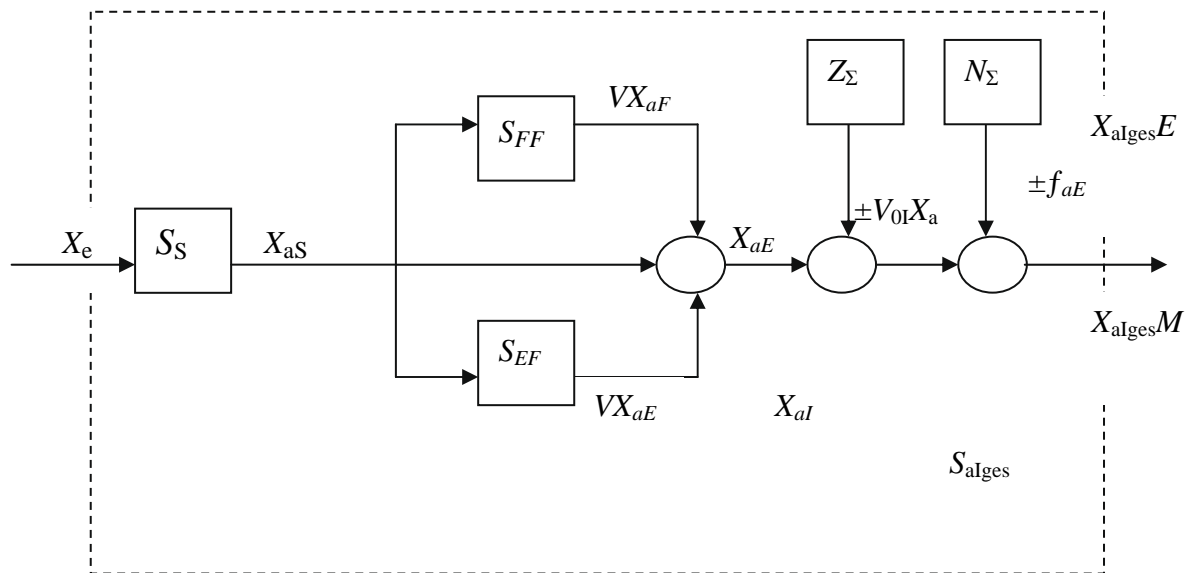
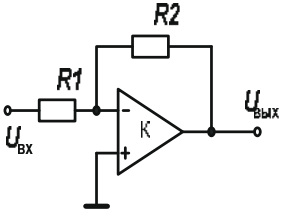
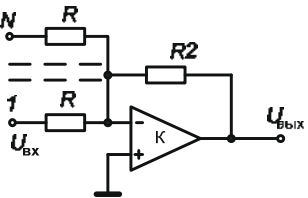
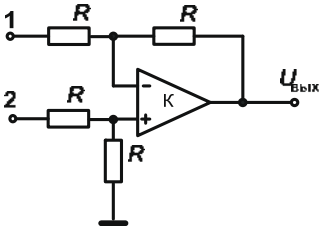
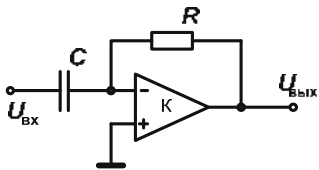
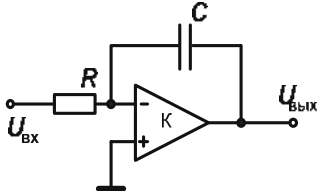


Рис. П.5. Получение результатов измерений с систематическими и случайными погрешностями измерений: Z_Σ – случайные помехи; N_Σ – неточно найденные погрешности измерений

Преобразователи на базе ОУ

Вид преобразователя	Схема	Выходной сигнал	Погрешность
Масштабный преобразователь		$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{R_2}{R_1} U_{\text{ВХ}}$	$\delta = \frac{\delta_R}{1 + \frac{KR}{R+1}}$
Сумматор		$U_{\text{ВЫХ}} = -\sum_1^n U_{\text{ВХ}i}$	$\delta = \frac{\delta_K}{1 - \frac{K}{n+1}}$
Вычитатель (сустрактор)		$U_{\text{ВЫХ}} = U_{\text{ВХ}2} - U_{\text{ВХ}1}$	$\delta = \frac{\delta_K}{1 + \frac{K}{2}}$
Дифференциатор		$U_{\text{ВЫХ}} = RC \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}$	$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{RC}{K} \cdot \frac{dU_{\text{ВХ}}}{dt}$
Интегратор		$U_{\text{ВЫХ}} = \frac{1}{RC} \int_0^T U_{\text{ВХ}}(t) dt$	$\Delta U_{\text{ВЫХ}} = -\frac{1}{KRC} \cdot \int_0^T U_{\text{ВХ}}(t) dt$

ПЕРЕЧЕНЬ РЕКОМЕНДУЕМОЙ НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ

ГОСТ 8.009–84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

ГОСТ 8.010–90. ГСИ. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений.

ГОСТ 8.057–80. ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Общие положения.

ГОСТ 8.061–80. ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение.

ГОСТ 8.207–76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения.

ГОСТ 8.256–77. ГСИ. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерения. Основные положения.

ГОСТ 8.310–90. ГСИ. Государственная служба стандартных справочных данных. Основные положения.

ГОСТ 8.326–89. ГСИ. Метрологическая аттестация средств измерений

ГОСТ 8.381–80. ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей.

ГОСТ 8.395–80. ГСИ. Нормальные условия измерения при поверке. Общие требования.

ГОСТ 8.401–80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.

ГОСТ 8.508–84. ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП. Общие методы оценки и контроля.

ГОСТ 11.001–73. Прикладная статистика. Ряды предпочтительных численных значений статистических характеристик.

ГОСТ 11.002–73. Прикладная статистика. Правила оценки аномальности результатов наблюдений.

ГОСТ 11.003–73. Прикладная статистика. Равномерно распределенные случайные числа.

ГОСТ 11.004–73. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров нормального распределения.

ГОСТ 11.005–74. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров экспоненциального распределения и распределения Пуассона.

ГОСТ 11.006–74. Прикладная статистика. Правила проверки согласия опытного распределения с теоретическим.

ГОСТ 11.007–75. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров распределения Вейбулла.

ГОСТ 11.009–79. Прикладная статистика. Правила определения оценок и доверительных границ для параметров логарифмически нормального распределения.

ГОСТ 15467–79. Управление качеством продукции. Основные понятия, термины и определения.

ГОСТ 15895–77. Статистические методы управления качеством продукции. Термины и определения.

ГОСТ 16263–70. ГСИ. Метрология. Термины и определения.

ГОСТ 25346–82. Единая система допусков и посадок. Общие положения, ряды допусков и основных отклонений.

РД 50-98–86. Методические указания. Выбор универсальных средств измерений линейных размеров до 500 мм.

РД 50-330–82. Методические указания. Определение межповерочных интервалов рабочих средств измерения.

РД 50-371–83. Методические указания. Обработка данных сравнительных испытаний ранговым методом.

РД 50-443–83. Методические указания. Применение ГОСТ 8.395–80.

РД 50-453–84. Методические указания. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета.

МИ 83–76. Методика определения параметров поверочных схем.

МИ 162–78. ИИС. Организация и порядок проведения метрологической аттестации.

МИ 187–79. Критерии качества поверки средств измерений.

МИ 188–79. Методика установления допускаемой погрешности поверки средств измерений.

МИ 199–79. Методика установления вида математической модели распределения погрешностей.

МИ 1317–86. Результаты измерений и характеристики погрешностей измерений. Форма представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроля их параметров.

БВ-РТМ-62–71. Соотношение между допусками размера, формы расположения и шероховатости поверхностей.

ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

A – результат измерений;

\hat{A} – результат измерения;

A_i – частные погрешности косвенно измеряемой величины Y ;

$A(t)$ – выходная величина средства измерения

D – дисперсия;

$D(\overset{\circ}{\Delta})$ – дисперсия распределения случайных погрешностей измерения;

$D, D_{11}, D_{22}, D_{33}$ – определитель и алгебраические дополнения элементов определителя D ;

$d_{1-q1/2}$ и $d_{q1/2}$ – квантили распределения;

$dF / dx_i, dF / dx$ – коэффициент влияния;

$F(\overset{\circ}{\Delta})$ – интегральная функция распределения случайной погрешности измерения;

$f(\overset{\circ}{\Delta})$ – дифференциальная функция распределения случайной погрешности измерения;

g_i – вес i -го условного уравнения;

K – энтропийный коэффициент;

$M(A)$ – математическое ожидание результатов измерений;

Me – медиана, значение случайной величины погрешности, при котором $P(X < Me) = P(X > Me) = 1/2$;

n – число наблюдений;

$P(t)$ – доверительная вероятность;

\hat{P}_t – вероятность безотказной работы в течение времени t ;

$P(\overset{\circ}{\Delta} \leq \overset{\circ}{\Delta} \leq \overset{\circ}{\Delta})$ – вероятность попадания случайной погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$ в интервал $(\overset{\circ}{\Delta}; \overset{\circ}{\Delta})$;

$p = d / dt$ – символ дифференцирования по времени;

p_j – частота попадания погрешностей в j -й интервал группирования;

q_i – выбранный уровень значимости критерия;

- $r_{i,j}$ – коэффициент корреляции величин;
- $S(\hat{A})$ – оценка среднего квадратического отклонения результата измерения;
- $S(p)$ – передаточная функция или операторная чувствительность;
- S_0 – статическая чувствительность;
- S_{Σ} – суммарное среднее квадратическое отклонение результата измерения;
- t – межповерочный интервал;
- t – относительная величина доверительного интервала в долях среднего квадратического отклонения;
- T_0 – наработка на отказ;
- $t_{\text{ст}}$ – значение случайной погрешности, выраженное в долях среднего квадратического отклонения;
- t_s – коэффициент Стьюдента;
- \bar{x} – среднее арифметическое ряда измерений;
- $X_{\Gamma-}, X_{\Gamma+}$ – границы промахов;
- $X_{\text{ист}}$ – истинное значение измеряемой величины;
- $X_{\text{д}}$ – действительное значение измеряемой величины;
- X_R – центр размаха;
- X_{RZ} – центр срединного размаха;
- $X(t)$ – входная величина средства измерения;
- $y(\Delta, n)$ – плотность вероятности случайной погрешности при заданном числе измерений n ;
- $z_{p/2}$ – верхняя квантиль распределения нормированной функции Лапласа, отвечающая вероятности $P/2$;
- α – уровень значимости гипотезы;
- $\alpha_k(A)$ – начальный момент k -го порядка случайной величины A ;
- γ_a – коэффициент асимметрии;
- γ_3 – коэффициент эксцесса;
- $\Gamma(n)$ – гамма-функция, обладающая свойством;
- Γ_j – левая граница j -го интервала группирования;

Δ – абсолютная погрешность, выражаемая в тех же единицах, что и измеряемая величина;

Δ_0 – аддитивная погрешность;

Δ_c – систематическая погрешность;

Δ_s – энтропийное значение погрешности;

Δ° – случайная погрешность;

ΔY_0 – систематическая погрешность косвенного измерения;

δ – относительная погрешность;

ε – предельная случайная погрешность, характеризующая доверительный интервал;

χ – контрэксцесс;

λ_i – интенсивность отказов;

$\mu_k(A)$ – центральный момент k -го порядка случайной величины A ;

ρ_k – коэффициент корреляции между случайными погрешностями измерения параметров;

$\sigma(\Delta)$ – среднее квадратическое отклонение погрешности;

$\sigma(\gamma_a)$ – среднее квадратическое отклонение коэффициента асимметрии;

θ – границы неисключенной систематической погрешности результата измерений;

v_i – невязка условного уравнения;

$\Phi(t)$ – интервал вероятностей при заданных значениях t ;

χ^2 – критерий Пирсона;

ω^2 – критерий Мизеса – Смирнова;

Ξ – эксцесс.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
1. Метрология.....	10
1.1. Основные понятия	10
1.1.1. Системы единиц физических величин	13
1.1.2. Измерительные шкалы	17
1.1.3. Виды средств измерений	36
1.1.4. Эталоны, их классификация	39
1.2. Классификация и основные характеристики измерений	39
1.2.1. Виды измерений	40
1.2.2. Общие методы измерений	43
1.3. Основы теории погрешностей.....	65
1.3.1. Погрешности измерений.....	65
1.3.2. Обнаружение грубых погрешностей.....	69
1.3.3. Описание случайных погрешностей с помощью функций распределения	71
1.3.4. Моменты случайных погрешностей.....	74
1.3.5. Точечные оценки истинного значения и среднеквадрати- ческого отклонения.....	85
1.3.6. Оценка с помощью интервалов.....	92
1.3.7. Проверка нормальности распределения результатов наб- людений	98
1.3.8. Классификация систематических погрешностей.....	105
1.3.9. Способы обнаружения систематических погрешностей.....	107
1.3.10. Введение поправок. Неисключенная систематическая погрешность	110
2. Средства измерений. Погрешности средств измерений.....	114
2.1. Общие методы измерений	114
2.1.1. Обработка результатов прямых равнорассеянных наблю- дений	118
2.1.2. Обработка неравнорассеянных рядов наблюдений.....	120
2.1.3. Критерии ничтожных погрешностей	130
2.1.4. Метрологические характеристики средств измерений	130
2.1.5. Нормирование метрологических характеристик средств измерений	136
2.1.6. Классы точности средств измерений	137
2.1.7. Регулировка и градуировка средств измерений.....	140
2.1.8. Методы поверки (калибровки) средств измерений, пове- рочные схемы	142
2.1.9. Стандартные образцы состава и свойств веществ и мате- риалов.....	146

2.1.10. Поверка, ревизия и экспертиза средств измерений	147
2.1.11. Аттестация испытательного оборудования	149
2.1.12. Эталон единицы физической величины.....	151
2.2. Технические измерения	156
2.2.1. Измерение мощности в цепях постоянного и переменного тока	156
2.2.2. Калориметрический измеритель мощности СВЧ	161
2.2.3. Погрешность измерений ваттметра	169
2.2.4. Универсальные средства измерения длин и углов	170
2.2.5. Измерительные датчики	174
2.2.6. Дифференциально-трансформаторная система.....	175
2.3. Поверка и аттестация СИ.....	177
3. Основы квалиметрии	182
3.1. Основные понятия и определения	182
3.2. Показатели качества.....	189
3.3. Показатели качества в предметных квалиметриях	197
3.4. Метрологическое обеспечение производства	203
3.5. Международные организации	206
4. Стандартизация	210
5. Сертификация.....	259
6. Курсовой проект	305
7. Лабораторный практикум	372
Лабораторная работа № 1. Прямые измерения. Определение показателей точности прямых измерений с многократными независимыми наблюдениями.....	372
Лабораторная работа № 2. Косвенные измерения. Определение показателей точности косвенных измерений.....	376
Лабораторная работа № 3. Совместные и совокупные измерения. Определение систематических погрешностей прямых измерений	388
Лабораторная работа № 4. Поверка средств измерений.....	395
Библиографический список	420
Приложение 1	421
Приложение 2	423
Приложение 3	426
Приложение 4.....	428



СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИЗДАТЕЛЬСКО-ПОЛИГРАФИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС