Метрология

Основы законодательной метрологии

Предметом метрологии (от греч. metron — мера, logos — учение) является извлечение количественной информации с помощью средств измерений о свойствах объектов и процессов, т.е. измерение свойств объектов и процессов с заданной точностью и достоверностью.

♦ **Метрология** — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения заданного уровня точности.

Современная метрология включает три составляющие:

(1) законодательную метрологию;

(2) фундаментальную (научную) метрологию;

(3) практическую (прикладную) метрологию. Результаты измерений выражают в узаконенных величинах. *Одна из главных задач* метрологии — обеспечение единства

измерений. Она может быть решена при соблюдении двух основополагающих условий:

(1) выражение результатов измерений в единых узаконенных единицах;

(2) установление допускаемых погрешностей результатов измерений — пределов, за которые они не должны выходить при заданной вероятности.

Основная задача метрологии — обеспечение единства измерений путем установления единиц физических величин, государственных эталонов и эталонных (образцовых) средств измерений, обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений, разработка методов оценки погрешности средств измерений, контроля и испытаний, а также системы передачи размеров единиц от эталонов, эталонных (образцовых) средств измерений рабочим средствам измерений. Решение этой задачи невозможно без установления единых правил, требований и норм, применяемых на всех этапах метрологического обеспечения. До последнего времени в нашей стране они устанавливались особым видом документов — *государственными стандартами* (ГОСТ). В настоящее время на смену им приходят *национальные стандарты* (ГОСТ Р), основное отличие которых — добровольность применения.

♦ **Эталоны,** хранящие и воспроизводящие единицы измерений с наивысшей точностью, называются государственными первичными и официально утверждаются в качестве исходных для страны. ♦

Единство измерений поддерживают путем передачи единицы величины от исходного эталона к рабочим средствам измерений, осуществляемой по ступенькам с помощью рабочих эталонов и эталонных (образцовых) средств измерений. Точность указанных мер понижается от ступеньки к ступеньке, как правило, в 2—4 раза.

Средства измерений (СИ) в соответствии с поверочной схемой периодически подвергаются поверке, которая заключается в определении метрологическим органом погрешности средств измерений АСИ и установлении его пригодности к применению при условии, что эта погрешность не превысила допустимую.

Работы по обеспечению единства измерений проводят специализированные организации, специальные службы организа ций и даже частные лица. Сеть метрологических органов называется метрологической службой. Деятельность этих органов направлена на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений путем проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений.

Все измерения, проводимые в стране, должны выполняться на средствах измерений, прошедших специальные испытания, называемые испытаниями на соответствие типу, и внесенных в специальный Государственный реестр средств измерений.

Описанная выше совокупность нормативно-правовых документов, метрологических органов и технических средств получила название *Государственной системы обеспечения единства измерений* (ГСИ).

Государственная система обеспечения единства измерений

Деятельность, направленная на обеспечение единства измерений в стране, достаточно разнородна: это и разработка содержательной части метрологических норм и правил, и установление их рациональной структуры, техническое обеспечение, установление сферы действия, гармонизация с международными документами и многое другое. Практика и накопленный опыт работ по обеспечению единства измерений потребовали сведения их в единый комплекс с единым центром, позволяющим осуществлять их четкую координацию. В Российской Федерации данные работы объединены в Государственную систему обеспечения единства измерений (ГСИ). Положения ГСИ столь важны для практической деятельности, что получили выражение в рамках федерального нормативного документа — ГОСТ Р 8.000—2000. Что же включает в себя ГСИ и каковы функции этой системы?

Назначение ГСИ — обеспечение единства измерений в стране, т.е. управление субъектами, нормами, средствами и видами деятельности с целью обеспечения установления и применения научных, правовых, организационных и технических основ, правил, норм и средств, необходимых для достижения требуемого уровня единства измерений.

♦ **Под единством измерений** в настоящее время принято понимать такое их состояние, при котором результаты измерений выражены в узаконенных единицах физических величин, а погрешность измерений не выходит за установленные границы с заданной вероятностью. ♦

ГСИ состоит из трех подсистем: организационной, правовой и технической.

Основными задачами ГСИ являются:

• разработка оптимальных принципов управления деятельностью по обеспечению единства измерений;

• организация и проведение фундаментальных научных исследований с целью создания более совершенных и точных методов и средств воспроизведения единиц физических величин и передачи их размеров;

• установление системы единиц физических величин и шкал измерений, допускаемых к применению;

• установление основных понятий метрологии, унификация их терминов и определений;

• установление экономически рациональной системы государственных эталонов;

• создание, утверждение, применение и совершенствование государственных эталонов;

• установление систем (по видам измерений) передачи размеров единиц физических величин от государственных эталонов другим средствам измерений;

• создание и совершенствование вторичных и рабочих эталонов, комплектных поверочных установок и лабораторий;

• установление общих метрологических требований к эталонам, средствам измерений, методикам выполнения изме рений, методикам поверки (калибровки) средств измерений и других требований, соблюдение которых необходимо для обеспечения единства измерений;

• разработка и экспертиза документов правового, экономического и нормативного характера в части обеспечения единства измерений, в том числе соответствующих разделов федеральных и региональных государственных программ;

• осуществление государственного метрологического контроля в форме поверки средств измерений; проведения испытаний с целью утверждения типа средств измерений; лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;

• осуществление государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств изме рений; эталонами единиц физических величин; аттестованными методиками выполнения измерений; соблюдением метрологических правил и норм; количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций; количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;
• аттестация методик выполнения измерений;
• калибровка и сертификация средств измерений, не входящих в сферы государственного метрологического контроля и надзора;
• аккредитация метрологических служб и иных юридических или физических лиц по различным видам метрологиче ской деятельности;
• участие в работе международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений;
• подготовка специалистов-метрологов;
• информационное обеспечение по метрологическим вопросам;
• совершенствование и развитие ГСИ;
• другие вопросы обеспечения единства измерений

Правовая подсистема ГСИ Правовая подсистема ГСИ — это комплекс взаимосвязанных законодательных и подзаконных актов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимосвязанным объектам деятельности по обеспечению единства измерений. Правовую подсистему составляют документы, регламентирующие:

• совокупность узаконенных единиц величин и шкал измерений;
• терминологию и определения в области метрологии;
• воспроизведение и передачу размеров единиц величин и шкал измерений:
• способы и форму представления результатов измерений и характеристик их погрешности;
• методы оценивания погрешности и неопределенности измерений;
• порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений;
• комплексы нормируемых метрологических характеристик средств измерений;
• методы установления и корректировки межповерочных (рекомендуемых межкалибровочных) интервалов;
• порядок проведения испытаний в целях утверждения типа и сертификации средств измерений;
• порядок проведения поверки и калибровки средств измерений;
• порядок осуществления метрологического контроля и надзора;
• порядок лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений;
• типовые задачи, права и обязанности метрологических служб федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц;
• порядок аккредитации метрологических служб по различным направлениям метрологической деятельности;

• порядок аккредитации поверочных, калибровочных, измерительных, испытательных и аналитических лабораторий, лабораторий неразрушающего и радиационного контроля;

• государственные поверочные схемы;

• методики поверки (калибровки) средств измерений;

• методики выполнения измерений.

Законом «Об обеспечении единства измерений» установлены структура и функции государственного управления деятельностью по обеспечению единства измерений, государственный контроль и надзор за состоянием и применением средств измерений (государственный метрологический контроль и надзор), определены его виды и сферы распространения. К числу последних отнесены: здравоохранение, охрана окружающей среды, безопасность, торговые операции, оборона государства, геодезические и гидрометеорологические работы, государственные учетные, банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции, испытания и контроль качества продукции для установления его соответствия стандартам и другим нормативным документам и т.д.

Государственный метрологический контроль включает в себя:

• проведение государственным научно-метрологическим центром или другой специализированной организацией, аккредитованной в установленном государством порядке на право проведения соответствующих работ, испытаний средств измерений с целью утверждения их типов;

• поверку средств измерений органами государственной метрологической службы (или другими аккредитованными органами) с целью определения их пригодности к применению на основании экспериментально определенных метрологических характеристик и подтвержденного соответствия установленным обязательным требованиям;

• лицензирование деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений на основе подтвер ждения готовности соответствующих предприятий и физических лиц к выполнению необходимых для соблюдения единства измерений норм и правил.

Таким образом, государственный метрологический контроль направлен на то, чтобы исключить возможность получения измерительной информации вне единой информационно-измерительной сети страны, которую составляют средства измерений, прошедшие на этапе внедрения, обязательные испытания с последующим утверждением типа средств измерений, поверенные уполномоченными органами метрологической службы и изготовленные, ремонтируемые и продаваемые юридическими или физическими лицами лишь при наличии у них специального разрешения — лицензии. Такой порядок позволяет эффективно поддерживать единство измерений в стране. Государственный метрологический контроль — это жесткое управляющее воздействие государства на экономику.

Второй составляющей государственного управления с целью обеспечения единства измерений в стране является *государственный метрологический надзор* — система плановых и внеочередных проверок соблюдения требований законов, стандартов, технических регламентов и других нормативных документов ГСИ на предприятиях всех форм собственности. Цель таких проверок — защита интересов граждан и государства от отрицательных последствий нарушения единства измерений в стране. Наиболее распространенной формой государственного метрологического надзора является проверка выпуска, состояния и применения средств измерений. Надзору также подлежат аттестованные методики выполнения измерений, соблюдение других установленных метрологических правил и норм, количество товаров при их реализации, а также в упаковках любого вида при расфасовке.

Государственный метрологический контроль и надзор распространяются в соответствии с действующей редакцией Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» на строго ограниченное количество сфер, которые можно сгруппировать следующим образом:

• здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда;

• торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе операции с применением игровых автоматов;

• государственные учетные операции;

• внешняя и внутренняя безопасность государства;

• геодезические и гидрометеорологические работы;

• банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;

• производство продукции для государственных нужд;

• испытания и контроль качества продукции по установленным обязательным показателям с целью подтверждения ее соответствия;

• измерения, проводимые по поручениям судов, прокуратуры и федеральных органов исполнительной власти;
• регистрация национальных и международных спортивных достижений

В остальных сферах экономики, а это в основном производственные сферы, задачи государственного метрологического контроля и надзора существенно сокращены за счет предоставления большей самостоятельности предприятиям. Последние проводят работы по обеспечению единства измерений самостоятельно и государство контролирует, как правило, только их организацию и качество. Основными задачами метрологического контроля, проводимого предприятиями самостоятельно, являются калибровка и сертификация средств измерений. В соответствии с положениями Закона все средства измерений, эксплуатирующиеся в стране, должны быть подвергнуты поверке или калибровке в зависимости от сферы их применения

Единицы величин и системы единиц

Вопрос определения единиц величин и установления единых и всеобщих правил их использования имеет для обеспечения единства измерений первостепенное значение — это краеугольный камень и основа единства измерений. Словарь СИ. Ожегова определяет величину как размер, объем, протяженность предмета или, в общем случае, как то, что можно измерить, исчислить, т.е. величина — это одно из свойств чего-либо, которое можно отделить от остальных свойств и оценить тем или иным способом, в том числе и количественно. В метрологии в основном имеют дело с физическими величинами.

♦ **Физическая величина** — это свойство, общее в качественном отношении для множества объектов, физических систем или их состояний и происходящих в них процессов, но индивидуальное **в** количественном отношении для каждого из них. ♦

Процесс измерения начинается с выделения среди множества свойств объекта измеряемого свойства.

Именно это обстоятельство во многом определяет принцип действия и конструкцию средства измерений. Чтобы найти количественное значение измеряемой физической величины, используются единицы физических величин.

♦ **Единицы физических величин** — физические величины фиксированного размера, которым присвоено числовое значение, равное единице, применяемые для количественного выражения однородных с ними физических величин. ♦

Основные термины и определения в области метрологии

Термины и определения играют в обеспечении единства измерений важную роль, так как единство терминологии свиде тельствует об одинаковом подходе и понимании задач измерительного контроля качества продукции, характеристик процессов, объектов и т.д. В связи с этим международные и национальные метрологические организации разрабатывают и внедряют с той или иной степенью обязательности использования определения основных положений метрологии (Например, VIM—93 «Международный словарь основных и общих терминов в метрологии»; РМГ 29—99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения»). Наиболее распространенная форма документов, устанавливающих единую терминологическую и понятийную базу в области обеспечения единства измерений, — рекомендации, которые становятся обязательными при их принятии в рамках той или иной фирменной или региональной системы качества. В России термины и понятия в области обеспечения единства Измерений содержатся в документах различного ранга:

• федеральных законах — Закон РФ «Об обеспечении единства измерений»;

• государственных (национальных) стандартах — ГОСТ Р 8.000—2000 «ГСИ. Основные положения», ГОСТ 8.567—99 «ГСИ. Измерения времени и частоты. Термины и определения», ГОСТ 20906—75 «ГСИ. Средства измерений магнитных величин. Термины и определения» и др.;

• метрологических правилах и рекомендациях — ПР 50.2.006—94 «ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения», РМГ 29—99 «ГСИ. Метрология. Основные термины и определения» и др.;

• методиках и рекомендациях метрологических институтов — МИ 2365—96 «ГСИ. Шкалы измерений. Основные положения, термины и определения» и т.п.

♦ **Измерение** — совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) , измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой ' величины. ♦

С другой стороны, согласно ГОСТ Р ИСО 9000—2001,

♦ **Измерение** — совокупность операций для установления значения величины. ♦

В этом случае под результатом измерения можно понимать не только результат измерения, полученный с помощью измерительного оборудования, но и результат расчета по математическим формулам, и результат оценки, причем выраженный в любом виде, например в виде баллов или значений лингвистических переменных («хорошо», «отлично», «удовлетворительно», «плохо» и т.д.) [1J.

♦ **Измерение физической величины** — совокупность операций по применению технических средств, хранящих единицу физической величины, обеспечивающая нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения этой величины. ♦

Следует обратить внимание на несколько аспектов приведенного определения. Во-первых, речь идет о «совокупности» операций, т.е. для проведения измерения необходимо иметь описание определенной последовательности действий, приводящих к получению результата — значения измеряемой величины. Эта совокупность представляется, как правило, в виде методики выполнения измерений (МВИ).

♦ **Методика выполнения измерений** — это установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. ♦

«

Гарантированная» точность обеспечивается проведением специальных процедур, входящих, как уже отмечалось выше, в сферу государственного метрологического контроля и надзора, — метрологической аттестации и метрологической экспертизы.

♦ **Метрологическая аттестация МВИ** — установление и подтверждение соответствия МВИ предъявляемым к ней метрологическим требованиям с целью определения возможности проведения измерений с погрешностью, не превышающей указанную в МВИ. ♦

♦ **Метрологическая экспертиза МВИ** — анализ и оценка правильности выбора метода и средств измерений, операций и правил проведения самих измерений и обработки их результатов. ♦

♦ **Средство измерений** — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. ♦

В этом определении представлено достаточно много признаков средства измерений. Прежде всего СИ — технические средства, т.е. части человеческого тела (локоть, например) или какие-либо организмы (например, попугаи) для целей измерений не применимы.

Вторая важная особенность — техническое средство должно быть предназначено для измерений. Очевидно, что технические средства, имеющие другое предназначение (утюг, например), для целей измерения применены быть также не могут, так как средство измерений в соответствии с приведенным определением должно иметь нормированные метрологические характеристики.

♦ **Метрологической характеристикой средства измерений** называется характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность. ♦

Конечно, каждое средство измерений имеет достаточно много свойств. Принято для каждого типа средств измерений устанавливать совокупность метрологических характеристик, которые в этом случае получают название *нормированных.* Метрологические характеристики средства измерений, определенные экспериментально, называются *действительными.*

Третьей отличительной чертой средства измерений является то, что это техническое устройство должно быть сконструировано таким образом, чтобы при воздействии на него соответствующей физической величины реакция СИ была пропорциональна определенному количеству единиц, установленных для этой величины. Последнее возможно, если СИ воспроизводит и хранит единицу измеряемой величины. Если рассматривать это определение применительно к шкалам измерений, то, наверное, можно говорить о том, что средство измерений хранит и воспроизводит какой-либо участок или точку шкалы. В этом случае при воздействии на СИ измеряемой величины (необязательно физической) реакция СИ должна давать однозначное сопоставление величины со шкалой или ее точкой.

Четвертая особенность рассматриваемого определения состоит в том, что для любого средства измерений его погреш ность должна быть установлена.

♦ **Погрешность средства измерений** — это разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой величины. ♦

♦ **Истинное значение физической величины** — значение, которое идеальным образом характеризует в качественном и количественном отношении соответствующую физическую величину. ♦

Истинное значение — идеализированное понятие, не пригодное для практических целей, так как оно может быть получено только в результате бесконечно большого числа измерений по абсолютно совершенной методике с применением абсолютно совершенного СИ. Для практических целей используется другое понятие.

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

Погрешность средства измерений, как правило, задается диапазоном допустимых значений для всех экземпляров СИ данного типа.

♦ **Типом СИ** называется вся совокупность средств измерений одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации. ♦

Границы этого диапазона называются пределами допускаемой погрешности СИ.

♦ **Предел допускаемой погрешности СИ** — наибольшее значение погрешности средств измерений, устанавливаемое нормативным документом для данного типа СИ, при котором оно еще признается годным к применению. ♦

Пригодность СИ к применению устанавливается проведением специальной процедуры — поверки СИ.

♦ **Поверка СИ** — установление органом метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности СИ к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям. ♦

При поверке устанавливается факт нахождения действительной погрешности СИ внутри пределов допускаемой погрешности. Естественно, что погрешность СИ не может оставаться неизменной по времени. Динамика ее изменения обусловлена условиями эксплуатации СИ, но все же в течение определенного промежутка времени она не превышает значений, установленных в качестве пределов. Величина этих отрезков времени уста навливается в нормативной документации и определяется как *межповерочные интервалы,* в течение которых СИ может эксплуатироваться в соответствии с назначением и приписанными ему метрологическими характеристиками. В течение межповерочного интервала метрологические характеристики СИ принимаются равными нормированным значениям.

Таким образом, в эксплуатации должны находиться только метрологически исправные средства измерений, т.е. средства измерений, у которых все нормируемые метрологические характеристики соответствуют установленным требованиям. Факт соответствия устанавливается поверкой СИ. Поверка СИ проводится по установленной методике, которая характеризуется погрешностью передачи размера единицы

♦ **Передача размера единицы** — это приведение размера единицы физической величины, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном. ♦

♦ **Эталон единицы физической величины** — это 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. ♦

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

Высший ранг поверочных схем представляют собой *государственные поверочные схемы,* распространяющиеся на все СИ данной физической величины, имеющиеся в стране. Низший ранг поверочных схем — *локальные поверочные схемы,* распространяющиеся на средства измерений данной физической величины, применяемые в регионе, ведомстве или на отдельном предприятии. Метрологические характеристики средств измерений, эксплуатирующихся вне сферы действия государственного метрологического контроля и надзора, могут определяться поверкой или калибровкой.

♦ **Поверка средства измерений** — совокупность операций, выполняемых органами государственной метрологической службы (другими, уполномоченными на то органами или организациями) с целью определения и подтверждения соответствия средства измерений установленным техническим требованиям. ♦

Как следует из приведенного определения, поверка — это операция экспериментальной проверки соответствия метрологических характеристик средства измерений установленным значениям, т.е., по сути, операция допускового контроля. Если характеристики средства измерений входят в установленный диапазон возможных значений, то средство измерений признается годным; если не входят (выходят), то оно по результатам поверки признается непригодным к дальнейшему применению (выбраковывается).

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

Первое отличие калибровки от поверки, как это следует из их определений, — неустановленность ее исполнителя. Второе отличие состоит в том, что поверка должна дать однозначный ответ о соответствии или несоответствии средства измерений установленным требованиям, а калибровка предусматривает определение действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности его к применению. На основе результатов калибровки средство измерений может быть признано пригодным к применению в данном конкретном технологическом процессе, даже если его реальные метрологические характеристики вышли за допусковые значения, установленные при испытаниях и утверждении типа, но удовлетворяют требо ваниям к конкретному измерительному процессу. Кроме указанных различий, поверка и калибровка во многом схожи, так как основаны на передаче размера единицы измеряемой величины от одних и тех же эталонов по одним и тем же методикам. Поэтому в задачи ГСИ входит правовая, организационная и техническая поддержка работ по калибровке средств измерений, выполняемая специальным органом — *Российской системой калибровки.*

Единицы величин и системы единиц

Вопрос определения единиц величин и установления единых и всеобщих правил их использования имеет для обеспечения единства измерений первостепенное значение — это краеугольный камень и основа единства измерений. Словарь СИ. Ожегова определяет величину как размер, объем, протяженность предмета или, в общем случае, как то, что можно измерить, исчислить, т.е. величина — это одно из свойств чего-либо, которое можно отделить от остальных свойств и оценить тем или иным способом, в том числе и количественно. В метрологии в основном имеют дело с физическими величинами.

♦ **Физическая величина** — это свойство, общее в качественном отношении для множества объектов, физических систем или их состояний и происходящих в них процессов, но индивидуальное **в** количественном отношении для каждого из них. ♦

Процесс измерения начинается с выделения среди множества свойств объекта измеряемого свойства.

Именно это обстоятельство во многом определяет принцип действия и конструкцию средства измерений. Чтобы найти количественное значение измеряемой физической величины, используются единицы физических величин.

♦ **Единицы физических величин** — физические величины фиксированного размера, которым присвоено числовое значение, равное единице, применяемые для количественного выражения однородных с ними физических величин. ♦

Таким образом, для получения количественной измерительной информации необходимо определить физическую величину, суметь выделить ее среди других физических величин, характеризующих данный объект измерения, и установить ее соотношение (сравнить) с такой же по природе физической величиной, размер которой принят за единицу.

В 1832 г. немецкий ученый К.Ф. Гаусс предложил первую систему единиц — «абсолютную», основанную на трех основных единицах — миллиметре, миллиграмме и секунде. Система предлагалась не на основе материальных образцов, а на основе виртуальных представлений. В 1881 г. система Гаусса была усовершенствована на основе единиц сантиметр-грамм-секунда (система СГС), представлявших большие преимущества для решения практических задач. Система Гаусса, а затем система СГС создавались исходя не из наличия образцов мер, принимаемых за эталоны, а из необходимости установления минимального числа взаимонезависимых основных единиц, комбинация которых позволяет получить любую другую единицу, называемую производной.

Так как теоретически решить задачу нахождения основных единиц можно только на основе анализа уже существующего состояния измерений и лишь прогнозируя перспективы развития, то ввиду ее сложности системы первоначально базировались на анализе измерений в какой-либо конкретной области техники. Так, физика ориентировалась на систему СГС, теплотехника — на системы СГС и метрическую и т.д. Снова вопросы унификации единиц измерений вышли на первый план, уже не территориальные или межгосударственные барьеры препятствовали техническому и научному прогрессу, а отраслевые. Для выражения результатов измерений использовалось до 10 единиц силы, 30 — работы и энергии. Однако появление большого количества систем единиц, базирующихся на различном количестве различных по природе единиц, позволило обобщить опыт их создания и разработать обобщающую интегральную систему единиц, вобравшую в себя весь опыт мировой практики измерений различных физических величин. В 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам принята Международная система единиц (Le Systeme international d'unites — сокращенно — SI). Международная система включает в себя наибольшее количество основных единиц среди всех известных систем (семь) и охватывает большую часть измерений.

Международная система единиц

В России (тогда СССР) Международная система единиц введена с 1961 г. В настоящее время применение единиц для выражения результатов измерений регламентировано положениями ГОСТ 8.417—2002. Стандарт не устанавливает единиц величин, оцениваемых по условным шкалам (например, шкала твердости, светочувствительности и т.д.), единиц количества продукции и обозначения единиц для печатающих устройств с ограниченным набором знаков. Международная система состоит из семи основных единиц и около 100 производных, некоторые из них получили специальные наименования и называются именованными. В число основных входят следующие единицы.

(1) **Единица длины — метр.** Метр есть длина пути, проходимого светом в вакууме за интервал времени 1/299792458 секунды. Отказаться от эталона, установленного в 1899 г. I Генеральной конференцией мер и весов, пришлось в 1960 г. в связи с тем, что относительная погрешность эталона (около $1{,}10^{-7}$) не удовлетворяла требованиям научно-технического прогресса и высказывались сомнения в постоянстве размеров эталона из-за явлений перекри сталлизации материала. В соответствии с этим определением скорость света в вакууме постулирована на между народном уровне как точно равная 299792458 м/с

(2) **Единица массы — килограмм.** Килограмм есть единица массы, равная массе международного прототипа кило грамма (обращаем внимание читателя: не равная массе воды в ... и т.д.!). Эталон массы установлен еще в 1899 г. I Генеральной конференцией мер и весов, не связан ни с физическими постоянными, ни с какими-либо природными явлениями. Ситуация с эталоном килограмма зеркальна по отношению к ситуации с его ровесником — эталоном метра. Не удается создать эталон массы, который бы превзошел по точности физический эталон (платино-иридиевую гирю), устранил опасность износа и соответственно потери точности эталона, его утраты, облегчил процедуру сличения и т.д. Современный эталон массы — это гиря, изготовленная более 100 лет назад

Единица времени — секунда. Секунда есть время, равное 9192631770 периодам излучения, соответствующего пере ходу *(F* = 4, *m* = 0) и *(F* = 3, *m* = 0) между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133. Такое определение единицы времени полностью устраивает измерение временных интервалов. Абсолютное время необратимо, оно только возрастает, для его измерения используются единицы, большие по величине, чем секунда (минута, час, сутки и т.д.). Эти единицы не относятся к системным, что является определенным изъяном.

4)**Единица силы электрического тока — ампер.** Ампер есть сила неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2{,}10^{-7}$ ньютона. Это определение практически связывает ампер с тремя другими основными единицами (метром, килограммом и секундой) и не требует создания технического устройства ввиду его очевидной невозможности (бесконечная длина, ничтожно малая площадь). Поэтому в России с 1992 г. утвержден в качестве национального эталона ампер, размер которого воспроизводится с помощью «квантовых» эталонов вольта и ома с СКО не более $1{,}10^{-8}$и НСП не более $2{,}10^{-7}$.

5) **Единица термодинамической температуры — кельвин.** Кельвин есть единица термодинамической температуры, равная 1/273,16 части термодинамической температуры тройной точки воды. С 1990 г. размер единицы термодинамической температуры определяется максимально приближенной к термодинамической практической температурной шкалой МТШ—90 (расхождение не более 1—3 мК). Шкала МТШ—90 начинается в точке 0,65 К и сверху не ограничена. Государственные первичные эталоны России воспроизводят МТШ—90 в двух поддиапазонах: от 0,8 К до 273,16 К и от 273,16 К до 2773 К. Первый поддиапазон воспроизводит низкотемпературный эталон, включающий в себя две группы железо-родиевых и платиновых термометров сопротивления. Градуировочные характеристики термометров определяются по результатам международных сличений. Передача шкалы термометрам (вторичным и рабочим эталонам) производится сличением при их тепловом контакте с эталонным блоком. СКО эталона находится в диапазоне от 0,3 мК до 1,0 мК, а НСП не превышает значений 0,4—1,5 мК.

Второй поддиапазон воспроизводит высокотемпературный эталон, в состав которого входят платиновые термометры сопротивления, температурные лампы и аппаратура воспроизведения реперных точек в диапазоне значений от 273,16 К до 1355,77 К. Относительные значения СКО — от $5,10^{-5}$ до $1,10^{-2}$, а НСП - от $1,10^{-4}$ до $1,10^{-3}$. Кроме термодинамической температуры (обозначение — *T,* размерность — К) допускается применять также температуру Цельсия (обозначение — *t,* размерность — °С), определяемую выражением $t = T - T_o$, в которой значение T_o = 273,15 К — температура таяния льда. По размеру градус Цельсия равен кельвину. «Градус Цельсия» — это специальное наименование, используемое вместо наименования «кельвин». Интервал или разность термодинамических температур выражают в Кельвинах. Интервал или разность температур Цельсия допускается выражать как в Кельвинах, так и в градусах Цельсия.

6) Единица силы света — **кандела** (от лат. candela — свеча). Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540,10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср. Современное определение единицы силы света не связано с испусканием света открытым пламенем сгорающего или излучением нагретого конкретного вещества. С 1967 г. в качестве источника света рассматривается излучение полного излучателя, представляющего модель абсолютно черного тела. В настоящее время модель абсолютно черного тела представляет собой две коаксиальные трубки из карбида ниобия, нагреваемые в вакууме постоянным электрическим током до температуры 3000 К. Эффективность такой модели может быть разной в зависимости от чистоты материала, условий нагрева и т.д.

7)Единица количества вещества — моль. Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углеро-де-12 массой 0,012 кг. Под структурными элементами в данном случае следует понимать обособленные частицы или группы частиц вещества: электроны, атомы, молекулы, ионы и т.п. Эталонов моля нет, так как моль — счетная единица и его масса для различных веществ различна. Численно моль равен числу Авогадро: $6,02214199(47)\ 10^{23}$ частиц. Средства измерений, отградуированные в молях, не выпускаются. Однако моль широко используется при химических расчетах.

Приведенная выше совокупность основных единиц должна обеспечить получение любой другой единицы, необходимой для проведения измерений и называемой производной единицей. Совокупность основных и производных единиц Международной системы, в свою очередь, должна обеспечивать возможность проведения любых измерений. Получение производных единиц требует определения их размерности. С этой целью основным единицам в рамках Международной системы были присвоены размерности.

♦ **Размерность** — это выражение в форме степенного одночлена, составленного из произведений символов основных единиц в различных степенях и отображающее связь данной производной единицы с основными. ♦

Естественно, что размерность основной единицы — присвоенный ей символ. Размерностями обладают лишь единицы метрических шкал разностей и отношений. Степени символов основных единиц, входящих в одночлен размерности производной единицы, могут быть целыми, дробными, положительными и отрицательными, так как над размерностями можно производить только действия умножения, деления, возведения в степень и извлечения корня. Если степень размерности равна нулю, то единица называется *безразмерной.*

Производные единицы подразделяются на несколько групп:

• производные единицы, образованные из основных единиц и не имеющие специальных наименований. Например, квадратный метр — единица площади; кубический метр — единица объема или вместимости; метр в секунду — единица скорости; метр на секунду в квадрате — единица ускорения и т.д.;

• производные единицы, образованные из основных и имеющие специальные наименования. Например, единица частоты — герц; единица силы — ньютон; единица давления — паскаль; единица энергии, работы или количества теплоты — джоуль и т.д.;

• производные единицы, образованные из основных и производных со специальным наименованием. Например, единица момента силы — ньютон-метр.

Международная система единиц построена по десятичному принципу. Кратные (большие) и дольные (меньшие) единицы образуются умножением исходных на множители, равные 10 в целой положительной или отрицательной степени. Для образования наименований кратных и дольных единиц используются приставки. Присоединение к наименованию и обозначению единицы двух или более приставок подряд не допускается, например вместо наименования единицы микромикрофарад следует писать пикофарад. В связи с тем что наименование основной единицы — килограмм содержит приставку «кило», для образования кратных и дольных единиц массы используют дольную единицу массы — грамм (0,001 kg) и приставки присоединяют к слову «грамм», например миллиграмм (mg, мг) вместо микрокилограмм (nkg, мккг). Дольную единицу массы — грамм допускается применять, не присоединяя приставку. Приставку или ее обозначение следует писать слитно с наименованием единицы или соответственно с обозначением последней

Основные правила написания обозначений единиц При написании значений величин применяют обозначения единиц буквами или специальными знаками (...°, ...', ..."), причем устанавливают два вида буквенных обозначений: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и рус ское (с использованием букв русского алфавита).

Шкалы измерений

Теория шкал разрабатывается уже достаточно долго, исходя из потребностей и логики развития физико-математических наук. В соответствии с этим отправной точкой теории шкал является положение о том, что свойство (свойства) объекта образует дискретное множество, между элементами которого существуют любого рода логические взаимосвязи. Тогда под шкалой измерений данного свойства понимают отображение элементов данного множества на систему условных знаков с аналогичными отношениями. Системами условных знаков могут являться множество обозначений (названий), например, цветов; совокупность классификационных символов или понятий, баллов оценки состояния объекта, действительные числа и т.п. Таким образом, для установления шкалы измерений необходимы как минимум две предпосылки — описание дискретного множества и установление логической взаимосвязи между его элементами. В настоящее время в соответствии с логической структурой проявления свойств в теории измерений принято различать пять интересующих нас типов шкал измерений:

(1) шкала наименований (классификации);
(2) шкала порядков (рангов);
(3) шкала разностей (интервалов);
(4) шкала отношений;
(5) абсолютная шкала.

Следует различать два созвучных, но различных по содержанию понятия: шкала измерений и шкала средства измерений. Определение шкалы измерений дано выше, а о шкале средств измерений мы поговорим при рассмотрении вопроса о метрологических характеристиках средств измерений.

♦ **Шкала наименований** — шкала, элементы (ступени) которой характеризуются только соотношениями эквивалентности (совпадения, равенства, сходства) конкретных качественных проявлений свойств (например, атласы цветов). ♦

Измерения с помощью таких шкал представляют собой процесс сравнения исследуемого объекта со шкалой и установление элементов шкалы, совпадающих с объектом. В шкалах наименований принципиально невозможно ввести единицы измерения и нулевой элемент (нулевую точку шкалы). Это чисто *качественные шкалы.* Они допускают проведение некоторых статистических операций при обработке результатов измерений, полученных с их помощью. Для создания шкалы наименований нет необходимости в эталонах, но если эталон шкалы наименований создан, то он воспроизводит весь применяемый на практике участок шкалы.

♦ **Шкала порядка (ранга)** — шкала, элементы которой допускают логическую взаимосвязь элементов не только в виде отношений эквивалентности (как у шкал наименований), но и отношений порядка по возрастанию или убыванию количественного проявления измеряемого свойства (например, шкалы чисел твердости, баллов землетрясений, силы ветра и т.п.). ♦

Следующие два типа шкал представляют особенный интерес, так как они нашли наибольшее практическое применение. Шкалы разностей (интервалов) и отношений объединяет общее название — *метрические шкалы.* Именно они положены в основу (использованы) при создании Международной системы единиц.

♦ **Шкала разностей (интервалов)** — шкала, допускающая дополнительно к соотношениям эквивалентности и порядка суммирование интервалов (разностей) между различными количественными проявлениями свойств (например, шкалы времени, температуры Цельсия). ♦

Шкалы разностей имеют условные (принятые по соглашению) единицы измерений и нулевые элементы, соответствую щие характерным (реперным) значениям измеряемой величины. В этих шкалах допустимы линейные преобразования и процедуры статистической обработки результатов измерений.

♦ **Шкалы отношений** — шкалы, к множеству количественных проявлений которых применимы соотношения эквивалентности и порядка — операции вычитания и умножения (шкалы отношений 1-го рода — пропорциональные шкалы) и суммирования (шкалы отношений 2-го рода — аддитивные шкалы). ♦
В шкалах отношений используются условные (принятые по соглашению) единицы измерений и естественные нули. Например, шкала термодинамической температуры (шкала 1-го рода); шкала массы (шкала 2-го рода) и т. п. Шкалы отношений допускают все арифметические и статистические операции.
Метрические шкалы, как правило, воспроизводятся эталонами, которые могут воспроизводить одну точку шкалы (эталон массы); отдельный участок шкалы (эталон длины) или практически всю шкалу (эталон времени).
Абсолютные шкалы — шкалы, обладающие всеми признаками шкал отношений, но дополнительно в них существует естественное однозначное определение единицы измерений. Такие шкалы используются для измерений относительных величин, таких, как, например, коэффициент полезного действия. Эти шкалы могут опираться на эталоны, воспроизводящие любые их участки, но могут быть построены и без эталонов.
Практическая реализация шкал измерений достигается путем стандартизации как самих шкал и единиц измерений, так и способов и условий их воспроизведения.

Воспроизведение и передача размеров единиц величин и шкал измерений

Эталоны и установки высшей точности В соответствии с определением, данным в РМГ 29—99, воспроизведение единицы физической величины представляет собой совокупность операций по материализации единицы с помощью государственного первичного эталона.

♦ **Первичным** называется эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы (точки или участка шкалы) с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью. ♦

Первичных эталонов одной и той же единицы физической величины может быть несколько, если это необходимо для пе рекрытия всего диапазона (шкалы) измеряемой величины.

♦ **Первичный эталон,** признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства, называется государственным первичным, государственным, или национальным, эталоном.

♦♦ **Исходным эталоном** называется эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами в рамках замыкающейся на него совокупности средств измерений и служащий для передачи им размера единицы. ♦

Существуют исходные эталоны в рамках одного предприятия, группы предприятий (холдинга), территории и, наконец, страны.

♦ Эталоны, получающие размер единицы от исходного эталона, называются **подчиненными. ♦**

♦ Подчиненный эталон, получающий размер единицы или шкалу непосредственно от первичного, называется **вторичным. ♦**

Первичные эталоны представляют собой весьма дорогой и тонкий инструмент, нагрузка на который не должна быть боль шой. С этой целью, а также для того, чтобы обеспечить сличение первичных эталонов между собой и с международными эталонами используются вторичные эталоны специального назначения. Это — эталоны-свидетели, эталоны-копии и эталоны сравнения.

♦ **Эталоны-свидетели** — вторичные эталоны, предназначенные для проверки сохранности государственных эталонов и замены их в случае порчи или утраты. ♦

♦ **Эталоны-копии** — вторичные эталоны, предназначенные наряду j. с государственными для передачи размеров шкал и единиц измерений с целью уменьшить нагрузку на них, применяются редко

♦ **Эталон сравнения** — вторичный эталон, применяемый для сличений других эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом. ♦

УСЛОВИЯ применения средств измерений весьма разнообразны и часто оказывается невозможным обеспечить необходимую точность или вообще передать единицу (шкалу) измерения от первичного эталона вследствие особых условий, которые необходимо при этом обеспечить. Для решения этой проблемы соз даются специальные эталоны, обеспечивающие воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющие для этих условий первичный эталон. Специальные эталоны наряду с первичными образуют базу, из которой формируется совокупность национальных эталонов.

Наряду с национальными эталонами основу единства измерений в стране обеспечивают так называемые *установки высшей точности* (УВТ).

Поверочные схемы Конечной целью воспроизведения единиц (шкал) является их передача рабочим средствам измерений (РСИ). РСИ получают единицу (шкалу) от эталонов, которые называются рабочими. *Рабочие эталоны* подразделяются на разряды и передача единицы осуществляется через цепочку соподчиненных по разрядам рабочих эталонов. Таким образом, единица фактически спускается вниз от исходного эталона к РСИ. При этом передача осуществляется ступенчато: исходный эталон — рабочий эталон 1-го разряда — рабочий эталон 2-го разряда — ... — РСИ.

Порядок передачи и количество ступеней определяется поверочной схемой.

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

Различают государственные и локальные поверочные схемы (в зависимости для какого исходного эталона они разработаны: государственного или исходного в рамках предприятия, региона и т.п.). *Государственная поверочная схема* распространяется на все средства измерений данной физической величины, имеющиеся в стране. *Локальная поверочная схема* распространяется на средства измерения данной физической величины, применяемые в регионе (на предприятии). Государственная поверочная схема возглавляется национальным эталоном. Локальная — исходным, в качестве которого могут быть использованы рабочий эталон, УВТ, специальный эталон. Исходя из технических возможностей, практической потребности, экономической целесообразности, поверочные схемы содержат различное число ступеней.

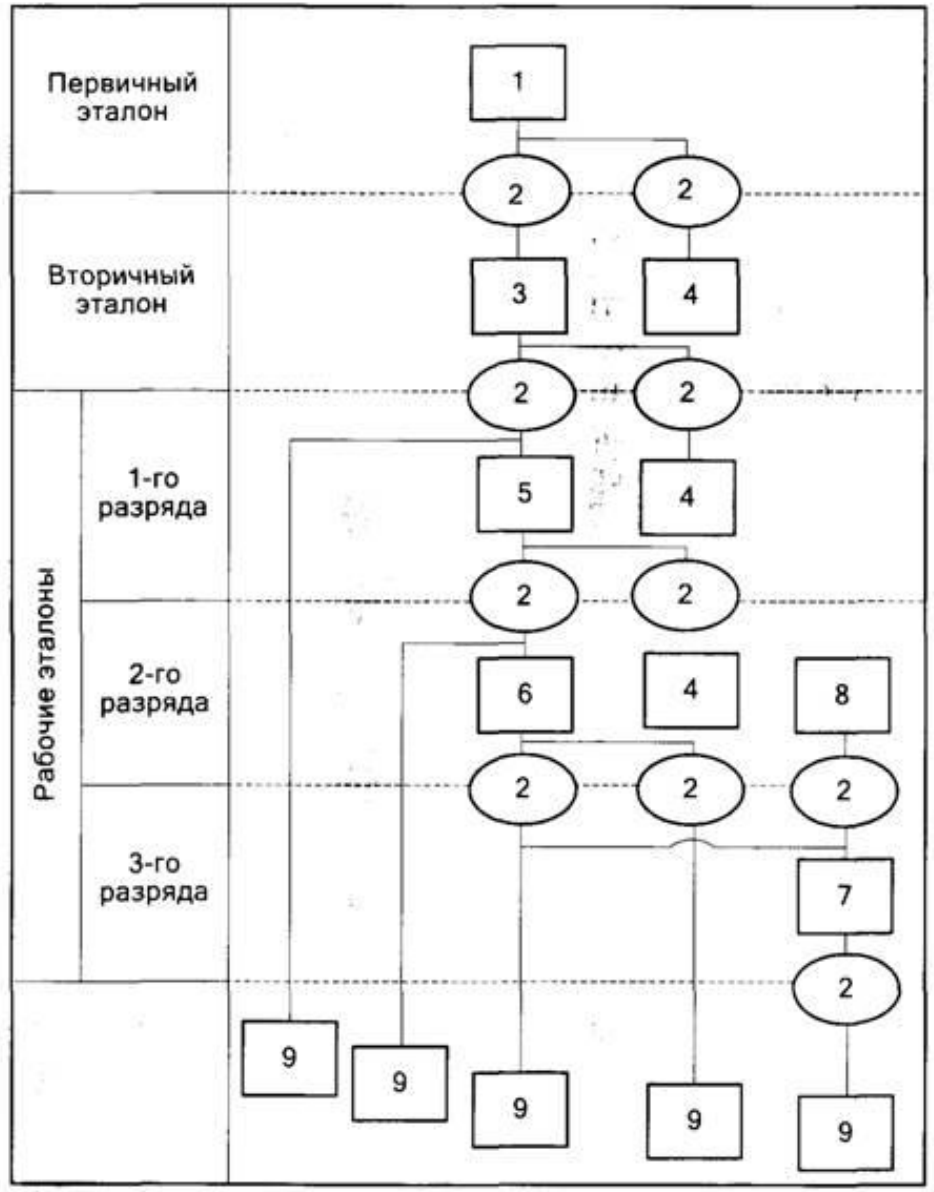

Рис. 2.1. **Структура поверочной схемы:**
1 — исходный эталон; 2 — метод поверки; 3 — вторичный эталон;
4 — эталон сравнения; 5, 6, 7 — рабочие эталоны соответствующих разрядов;
8 — рабочий эталон, заимствованный из другой поверочной схемы;
9 — рабочие средства измерений

Методы передачи размера единиц величин В поверочных схемах используются следующие методы передачи размера единицы величины (методы поверки или калибровки).

Метод непосредственного сличения предусматривает одновременное измерение одного и того же значения физической величины поверяемым средством измерений и эталоном соответствующего разряда. При сличении устанавливается некоторое значение измеряемой величины и сравниваются показания поверяемого средства и эталонного. За действительное принимается показание эталона. При этом отсчет показаний можно производить двумя способами. В одном случае значение величины устанавливается по поверяемому средству измерений, а отсчет производится по эталону. В другом случае значение измеряемой величины устанавливается по эталону, а отсчет производится по показаниям поверяемого средства. Предпочтение следует отдать первому способу, поскольку цена деления шкалы эталона, как более точного средства измерения, дает возможность произвести более точный отсчет.

Метод сличения поверяемого средства измерения с эталонным *с помощью компаратора* (средство измерения, предназначенное для сличения мер однородных величин). Одной из наиболее распространенных модификаций этого метода считается *метод замещения,* при котором измеряемую величину замещают мерой с известным значением величины (метод Борда при точном взвешивании). Широко используется также вариант рассматриваемого метода, получивший название *метода противопоставления,* при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой (например, взвешивание на равноплечих весах). При этом в зависимости от способа отсчета может использоваться *нулевой метод,* когда результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сравнения доводят до нуля, или *дифференциальный метод,* когда измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины, и при котором имеется возможность измерять разность между этими двумя величинами.

Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность с помощью многозначной меры провести сличение и определить погрешность поверяемого средства измерений. Например, проведение поверки динамометров 3-го разряда непосредственно на эталонной (образцовой) силоизмерительной машине 2-го разряда.
Метод косвенных измерений применяется, когда действительный размер меры находят с помощью поверяемого средства измерения прямыми измерениями нескольких эталонных величин, связанных с искомой величиной определенными зависимостями. Примером может служить определение вместимости стеклянных мер весовым методом.

Принцип измерений определяется как физическое явление или эффект, положенный в основу измерений. Это, например, может быть принцип гравитации, положенный в основу измерения массы взвешиванием.
Метод измерений обычно обусловливает конструкцию средства измерений (или ею обусловливается) и определяется как прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализо ванным принципом измерений (например, упоминавшийся выше метод Борда).
Методика выполнения измерений, например, при проведении поверки или калибровки, является установленной совокупностью операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с гарантированной точностью в соответствии с принятым методом. Обычно методика регламентируется соответствующим нормативным документом и определяет конкретные действия при проведении измерений

Поверка средств измерений Поверочные схемы регламентируют только методы передачи размера единицы физической величины от эталонов рабочим средствам. Конкретизация методов и описание последовательности действий при поверке производится путем разработки методики поверки. Все средства измерений, эксплуатирующиеся в стране, должны быть обеспечены методиками поверки. Эта задача — одна из основных при проведении испытаний новых средств измерений. Методики поверки принципиально могут быть установлены документами различных рангов. Для средств измерений, выпускаемых в массовом порядке длительное время, методики поверки традиционно для нашей страны устанавливались в виде ГОСТов. Для других типов средств измерений методики поверки приводились в соответствующем разделе технического описания; в виде инструкции по поверке в составе эксплуатационной документации; в виде рекомендаций метрологических институтов и методических указаний или стандартов конкретных юридических лиц. Разделы технического описания и инструкции по поверке разрабатываются изготовителями средств измерений на этапе подготовки к испытаниям на соответствие типу средств измерений, проходят проверку при испытаниях, проводимых, как правило, в метрологических институтах и рассчитаны на применение средств измерений в очень широких диапазонах условий. На практике довольно часто сталкиваются с необходимостью разработки методики поверки для измерительных комплексов, состоящих из ряда средств измерений или для средств измерений, методика поверки которых по той или иной причине отсутствует. В этом случае по заявке юридического лица методика может быть разработана метрологическим институтом или самим юридическим лицом и утверждена по соответствующей процедуре в виде рекомендации (как правило, методика института — МИ) или в виде стандарта предприятия. В последнем случае может быть утвержден документ

Документы по поверке должны включать:

• титульный лист с указанием системы (ГСИ), в соответствии с которой разработана методика; наименования пове ряемых средств измерений; надписью «Методика поверки» и всеми необходимыми данными для идентификации документа (номер по принятой индексации, наименование организации, год введения и т.д.);

• вводную часть с указанием назначения документа, степени соответствия его документам более высокого ранга (международным, национальным и др.) и рекомендуемого межповерочного интервала;

• операции поверки в виде перечня или таблицы операций с указанием возможности ее прекращения в случае получения отрицательных результатов при проведении той или иной операции. В этом разделе могут указываться сведения о нормах времени на проведение каждой операции;

• средства поверки: перечень эталонов и вспомогательных средств поверки (поверочного оборудования) с указанием номеров нормативных документов, из которых можно узнать метрологические и основные технические характери стики применяемых средств и оборудования;

• требования к квалификации поверителей: сведения об уровне квалификации лиц, проводящих поверку, и доку ментах, с которыми должен ознакомиться поверитель перед проведением поверки;

• требования безопасности;

• условия поверки с указанием перечня влияющих физических величин, их номинальных значений и допустимых отклонений;

• подготовку к поверке: перечень работ, которые проводят перед поверкой, и способы их проведения;

• проведение поверки, включая описание операций внешнего осмотра поверяемого средства измерений; его опробо вания и определения метрологических характеристик;

• обработка результатов измерений при поверке;

• оформление результатов поверки.

Сама поверка проводится по установленным правилам. Эти правила описаны в правилах по метрологии ПР 50.2.006—94 «ГСИ. Порядок проведения поверки средств измерений», в соответствии с которыми установлены пять видов поверки: первичная, периодическая, внеочередная, инспекционная и экспертная.

(1) *Первичной поверке* подвергаются средства измерений утвержденных типов при выпуске из производства и ремонта и при ввозе по импорту. Поверяется каждый экземпляр средств измерений. По согласованию с Ростехрегулированием при выпуске крупной партии продукции допускается поверка контрольной партии.

(2) *Периодическая поверка* средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, проводится через оп ределенные межповерочные интервалы. Первый межповерочный интервал устанавливается при утверждении типа средств измерений. Результаты периодической поверки действительны в течение межповерочного интервала. Корректировка межповерочных интервалов осуществляется органами государственной метрологической службы по согласованию с метрологической службой юридического лица (МИ 2187—92). Если договориться не удается, то арбитром выступает ГНМЦ, проводивший испытания на утверждение типа СИ. Периодической поверке могут не подвергаться средства измерений, находящиеся на длительном хранении (более одного межповерочного интервала).

(3) *Внеочередная поверка* проводится при:

• повреждении знака поверительного клейма или утере свидетельства о поверке;

• вводе в эксплуатацию средств измерений после длительного хранения (более межповерочного интервала);

• проведении повторной юстировки или настройки, известном или предполагаемом ударном воздействии на средство измерений или его неудовлетворительной работе.

4) *Инспекционная поверка* может проводиться в рамках государственного метрологического надзора за работой МСЮЛ. Она может проводиться не в полном объеме.

(5) *Экспертная поверка* проводится в рамках экспертизы средств измерений, проводимой по поручению суда, прокуратуры и других органов власти.

Положительные результаты поверки оформляются либо нанесением оттиска поверительного клейма на средство измерений или на его документацию, либо выдачей свидетельства о поверке. В правилах приведены формы свидетельства о поверке, извещения о непригодности к применению средства измерений и графика поверки средства измерений.

К работам по поверке средств измерений допускаются только специально аттестованные работники — поверители СИ. Порядок аттестации поверителей установлен в правилах по метрологии ПР 50.2.012—94 «ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений».

Аттестацию поверителей средств измерений согласно закону «Об обеспечении единства измерений» осуществляют территориальные органы ГМС (ЦСМ), ГНМЦ, а также крупные МСЮЛ, аккредитованные на право поверки при обязательном участии в составе аттестационной комиссии представителя местного ЦСМ, наделенного правом «вето». Правилами установлены два вида аттестации: первичная и периодическая. К *первичной аттестации* допускаются лица, прошедшие специальную подготовку и имеющие опыт работы в поверочных подразделениях. К *периодической аттестации* могут быть допущены поверители, прошедшие в межаттестационный период соответствующую переподготовку

Калибровка средств измерений В соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений» средства измерений, эксплуатируемые вне зоны действия государственного метрологического контроля и надзора, могут подвергаться не поверке, а калибровке. Определение калибровки было приведено выше. Напомним его: калибровка средства измерений — это совокупность операций, выполняемых с целью определения и подтверждения дей ствительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору.

Так как операция калибровки по определению отнесена к компетенции МСЮЛ, то работы по калибровке сразу же приобрели размах. Для их упорядочения Ростехрегулирование создало Российскую систему калибровки (РСК).

Положение о РСК изложено в правилах по метрологии ПР 50.2.017—95 «ГСИ. Положение о Российской системе калибровки». В документе установлены основные положения по организации, структура, функции РСК, права и обязанности входящих в нее МСЮЛ

Технология организации и проведения работ по калибровке средств измерений во многом совпадает с работами по проведению поверки средств измерений. Основная особенность калибровки состоит в том, что на основании результатов калибровки не выносится вердикт в координатах «годен — не годен», а устанавливаются фактические значения метрологических характеристик средства измерений. Эти фактические значения далее используются при оценке параметров продукции. Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средство измерений, или сертификатом о калибровке, или записью в эксплуатационных документах. Протокол с результатами калибровки имеет важное значение, так как из него следуют установленные значения метрологических характеристик средства измерений. Протоколы должны храниться до следующей калибровки, но не менее года.

Рис. 2.2. **Структура РСК**

Практическая метрология

Классификация средств измерений

Основные элементы и погрешность средств измерений

Нормальные условия измерений

Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

Класс точности средств измерений

Изготовление, ремонт, продажа и прокат средств измерений

Испытания и утверждение типа средств измерений

Ретроспектива проблем метрологического обеспечения предприятий

Классификация средств измерений

Единицы измерений (шкалы) передаются средствам измерений, с помощью которых и производятся собственно измерения. В этом смысле эталоны и поверочные схемы являются операциями вспомогательными. Напомним определение, данное в РМГ 29—99. Отметим также, что развитие науки и техники, а также чрезвычайно большая область применения средств измерений предопределяют невозможность разработки «идеального», устраивающего всех и навсегда определения. Поэтому для соблюдения требований единства измерений метрологам-практикам следует пользоваться принятой, узаконенной терминологией, оставив теоретикам возможность разрабатывать и обсуждать варианты, один из которых со временем заменит действующее определение.

♦ Итак, **средство измерений** — техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. ♦

Средства измерений, используемые для получения измерительной информации о характеристиках объектов и процессов, не связанные с передачей размера единицы другим средствам измерений, называются *рабочими средствами измерений* (РСИ). Принято все средства измерений подразделять на меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи, измерительные установки и измерительные системы.

♦ **Меры** (полное название — мера физической величины) представляют собой средства измерений, предназначенные для воспроизведения и (или) хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью. ♦

Меры, воспроизводящие физическую величину одного размера, называются *однозначными* (например, гири — однозначные меры массы). Если мера воспроизводит физическую величину разных размеров, она называется *многозначной* (например, штриховая мера длины). Если меры одной и той же физической величины подбираются в комплект таким образом, что имеется возможность их соединения для получения других размеров, то такой комплект называется *выбором мер.* Набор должен эксплуатироваться только с теми мерами, с которыми он прошел поверку. Для этого меры помечают способами, исключающими изменение их метрологических характеристик. Пример набора мер — набор концевых мер длины. Если меры объединены конструктивно так, что изменение состава комплекта мер невоз можно, а в конструкции предусмотрены устройства для их соединения в различных комбинациях, то такой комплект называется *магазином мер* (например, магазин электрических сопротивлений). К мерам относятся стандартные образцы.

Измерительная информация может быть представлена в виде, удобном для восприятия человеком или удобном для даль нейшей машинной трансляции и переработки. По этому признаку средства измерений разделяют на измерительные приборы и измерительные преобразователи.

♦ **Измерительный прибор** (или просто прибор) — это средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне. ♦

♦ **Измерительный преобразователь** — техническое средство с нормированными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи (например, термопара). ♦

Измерительные преобразователи или входят в состав средства измерений, или применяются вместе с ним. Приборы, показания которых являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины, называются *аналоговыми.* Если измерительная информация представляет собой дискретные сигналы в цифровой форме, то приборы называются *цифровыми.*

Независимо от способа выработки и формы измерительной информации приборы могут быть показывающими и регистрирующими. *Показывающий прибор* допускает только отсчет, а *регистрирующий* — позволяет осуществить запись результатов измерений. Аналоговые регистрирующие приборы, как правило, самопишущие (непрерывная запись результатов в виде диаграммы); цифровые — печатающие.

Часто для проведения измерений требуется объединение в одно функционально целое некоторой совокупности средств измерений и других устройств (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей). Если эта совокупность расположена в одном месте, то она называется *измерительной установкой;* если рассредоточена по объекту измерения (например, теплоэлектростанции) — *измерительной системой.*

Основные элементы и погрешность средств измерений

Конструкция любого средства измерений определяется Принципом и методом измерений, принятых при его разработке.

♦ **Принцип измерений** — физическое явление или эффект, положенное в основу измерений. ♦

♦ Метод **измерений** — прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений. ♦

♦ Практическая реализация принципа и метода приводит к созданию **измерительной цепи** средства измерений — совокупности элементов средства измерений, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода. ♦

Измерение начинается с выделения из совокупности физических величин, характеризующих свойства измеряемого объекта или процесса, измеряемой величины. Это выделение осуществляется частью первого в измерительной цепи преобразователя, называемого *первичным измерительным преобразователем,* которая получила название *чувствительного элемента* средства измерений. Конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь называется *датчиком.* Измерительный сигнал, пройдя по измерительной цепи все преобразования, по ступает на *измерительный механизм,* который обеспечивает необходимое перемещение указателя. Указатель — это часть показывающего устройства, положение которой относительно отметок шкалы определяет показания средства измерений.

♦ **Показывающее устройство** — это совокупность элементов средства измерений, которое обеспечивает визуальное восприятие значений измеряемой величины. ♦

Воспринять значения измеряемой величины можно в двух формах: в форме сигнала «да—нет», и тогда мы имеем дело с индикатором, т.е. техническим средством, предназначенным для установления наличия какой-либо физической величины или превышения уровня ее порогового значения. Индикаторы средствами измерений не являются.

Для восприятия значений измеряемой величины необходимо иметь возможность произвести *отсчет показаний средства измерений,* т.е. осуществить фиксацию значения величины или числа по показывающему устройству средства измерений в заданный момент времени. Значение величины устанавливается по *шкале средства измерений.* Это очень важная часть средств измерений. Вообще говоря, шкала средства измерений — это вещественное отражение шкалы измерений (хранится и воспроизводится средством измерений), о которой мы говорили выше. Поэтому многие понятия и термины, употребляемые применительно к шкалам, распространяются и на средства измерений, вообще не имеющих показывающих или регистрирующих устройств

♦ Итак, **шкала средства измерений** — это часть его показывающего устройства, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией. ♦

Отметки на шкалах могут быть нанесены равномерно, и тогда шкала называется *равномерной,* или неравномерно, тогда шкала называется *неравномерной. Отметка шкалы* — это знак на шкале (черточка, зубец, точка и т.п.), соответствующий некоторому значению измеряемой физической величины. Если около отметки шкалы поставлено соответствующее ей число, то она называется *числовой отметкой.* Шкалы с числовыми отметками часто называют *именованными.* Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется *делением шкалы,* а соответст вующая ему разность значений измеряемой величины — *ценой деления.* Не следует путать цену с длиной деления: последняя представляет собой конкретную физическую величину — расстояние между двумя соседними отметками. Наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений, называется *начальным значением шкалы,* а наибольшее — *конечным.* Разность между ними представляет собой *диапазон показаний* средства измерений.

Диапазон показаний не всегда совпадает с диапазоном измерений. В качестве диапазона измерений принимается область значений шкалы, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средства измерений. Наименьшее значение диапазона измерений получило название *нижнего предела измерений;* наибольшее — *верхнего предела измерений.* Работоспособное средство измерений имеет погрешность, не превышающую по величине установленного предела. Если характеристика одного из свойств средства измерений оказывает влияние на его погрешность, то она называется *метрологической.*

Метрологические характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называют *нормируемыми метрологическими характеристиками,* а определенные экспериментально — *действительными.*

♦ **Погрешность средства измерений** представляет собой разность между показаниями средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины. ♦

По форме выражения погрешности средства измерений можно подразделить на абсолютные, относительные и приведенные.

Абсолютная погрешность выражается в единицах измеряемой величины. Это удобно, если абсолютная погрешность остается неизменной по величине во всем диапазоне измерений.

Относительная погрешность выражается отношением абсолютной погрешности к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины. Это удобно, если абсолютная погрешность представляет собой функцию результата измерений. Для сопоставления средств измерений по точности или для выражения погрешности какой-либо характерной точки диапазона измерений удобно пользоваться *приведенной погрешностью,* которая представляет собой отношение абсолютной погрешности к условно принятому, нормирующему значению измеряемой величины (например, к диапазону измерений или верхнему пределу диапазона измерений и т.п.). Это подразделение погрешностей принято для удобства их представления и обработки результатов эксперимента. Физически имеет смысл лишь абсолютная погрешность (рис.).

Рис. 3.1. **Характеристика преобразования средства измерений**

На вход средства измерений (с чувствительного элемента первичного измерительного преобразователя) поступает входной сигнал измерительной информации. Как правило, этот сигнал должен пройти в измерительной цепи средства измерений достаточно много последовательных преобразований, чтобы на выходе средства измерений (на показывающем или регистрирующем или другом устройстве) был получен сигнал выходной информации в форме, удобной для дальнейшего использования. Взаимосвязь входного и выходного сигналов называют *характеристикой преобразования средства измерений.* Различают два вида характеристик преобразования: реальную и номинальную.

Реальная характеристика преобразования средства измерения — это действительная функция взаимосвязи между сигналом, подаваемым на вход средства измерений и снимаемым на его выходе. Если рассматривать всю измерительную цепь средства измерений и все преобразования сигнала, то на входе мы будем иметь дело с действительным значением измеряемой величины, а на выходе — с измеренным. Эта характеристика, получившая название *градуировочной,* определяется экспериментально.

Экспериментальное определение реальной (градуировочной) характеристики гарантирует ее заведомо нелинейный характер. Для удобства практического использования действительную функцию преобразования «сглаживают» и она в идеале представляет собой прямую линию. Эту характеристику, приписываемую средству измерений, называют *номинальной.* Интерес представляют два возможных «крайних» случая расхождения номинальной и реальной характеристик.

В первом случае значения абсолютных погрешностей ΔX и ΔY постоянны и не зависят от значения величины AX входного (измеряемой величины) или Y выходного (показания средства измерений) сигналов. Этот случай отражен на рис.

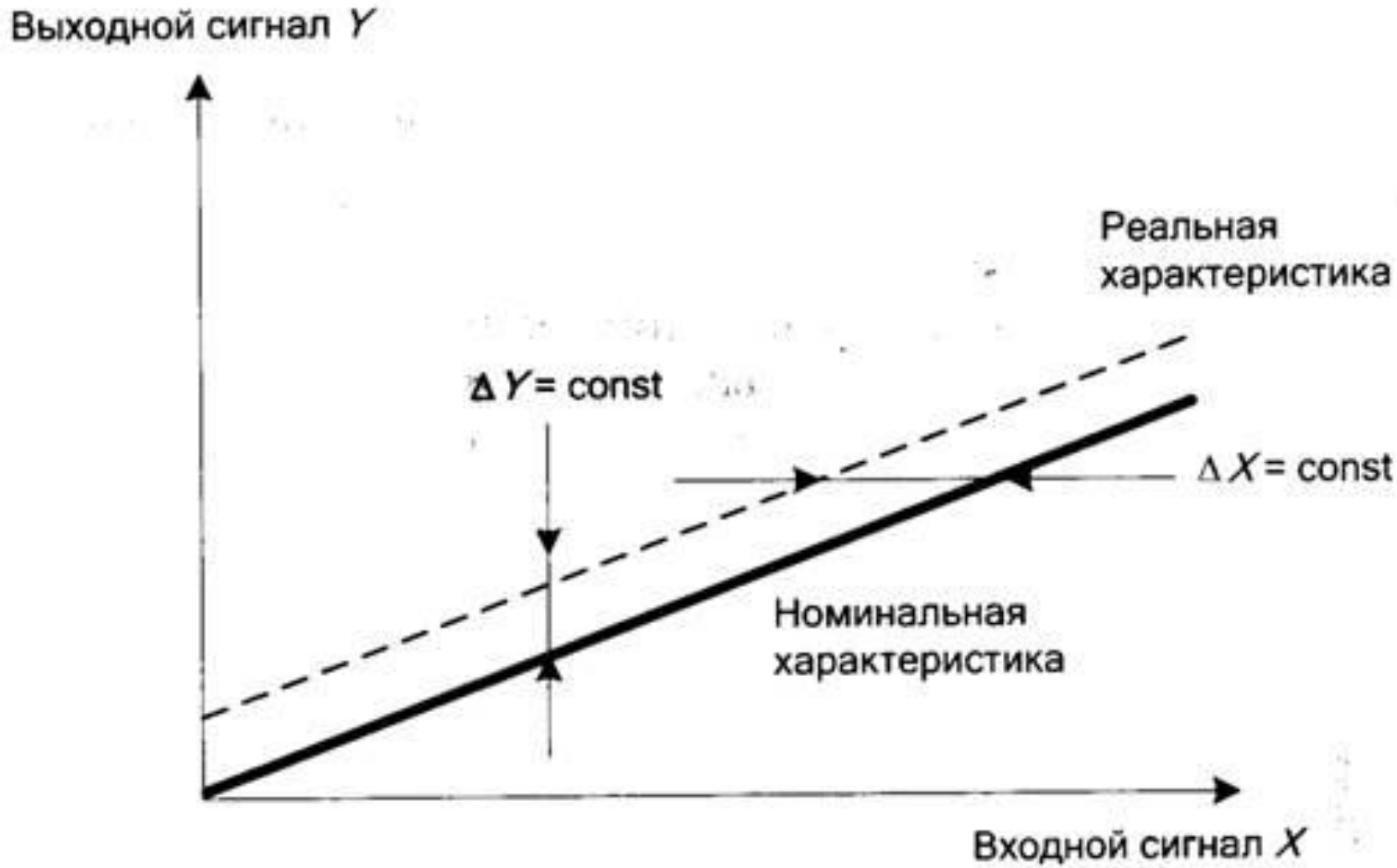

Рис. 3.2. **Аддитивная абсолютная погрешность преобразования**

Реальная характеристика смещена на постоянную величину абсолютной погрешности относительно номинальной характеристики, что позволяет использовать абсолютную погрешность для нормирования погрешности средства измерений (измерительного преобразователя). Такая абсолютная погрешность называется *аддитивной,* или *погрешностью нуля.* При введении в конструкцию средства измерений корректора нуля аддитивная погрешность легко устраняется, так как достаточно совместить хотя бы одну точку реальной и номинальной характеристик для их совпадения.

Во втором случае абсолютная погрешность преобразования прямо пропорциональна величине выходного или входного сигнала. Этот случай отражен на рис

Рис. 3.3. **Мультипликативная погрешность средства измерений**

Так как в этом случае абсолютная погрешность $\Delta Y = kV$ $(\Delta X = k*X)$, то постоянное по диапазону измерений значение сохраняет относительная погрешность преобразования, т.е. $\delta_y = \kappa$ $(\delta_x = \kappa*)$, что позволяет использовать ее при нормировании погрешности средства измерений. Такая относительная погрешность называется *мультипликативной,* или *погрешностью чувствительности.* Если установлено предельно допустимое значение погрешности, то при каком-то значении Y или *X* погрешность средства измерений превысит допустимое значение. Приняв это значение *Y* или *X* за верхний предел соответствующего поддиапазона измерений и применив корректор нуля, получим возможность расширения диапазона измерений (см. рис. 3.3).

По характеру проявления в составе погрешности усматривают составляющие, остающиеся неизменными или закономерно изменяющиеся, — они получили название *систематических составляющих погрешности.* Составляющие, изменяющиеся случайным образом, — это *случайные составляющие погрешности* средства измерений. Можно сказать, что случайные погрешности — это следствие нашего незнания процесса измерения, а систематические — доля знания, т.е. по мере исследований и проникновения в глубину процесса измерения количество систематических составляющих возрастает

Нормальные условия измерений

Исследования метрологических характеристик средств измерений производят, как правило, в специализированных ла бораториях.

• ДЛЯ обеспечения сопоставимости результатов исследований используется установление диапазонов значений физических величин, непосредственно не измеряемых, но оказывающих влияние на погрешность средства измерений, например температуры окружающего воздуха, атмосферного давления, влажности и др. Совокупность этих диапазонов называется **нормальными условиями измерений. ♦**

Погрешность средства измерений, определенная при нормальных условиях измерений, называется *основной.* Общие требования к установлению нормальных условий сформулированы в ГОСТ 8.395—80 «ГСИ. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования». В соответствии с этим документом нормальными условиями для определения основной погрешности поверяемого средства измерений следует считать диапазоны изменения:

• влияющих величин, при которых составляющая погрешности средства измерений от действия совокупности влияющих величин в диапазоне их изменения, установленного нормальными условиями, не превышает 35% пре дела допускаемой основной погрешности поверяемого средства измерений;

• других величин, при которых выход аппаратурной погрешности результатов их измерений за пределы допус каемой основной погрешности соответствующих средств измерений не должен превышать 35% или 50% предела ' допускаемой основной погрешности примененного эталонного средства измерений, если его нормальные условия отличаются от установленных для поверяемого средства измерений.

В случае если при поверке невозможно или нецелесообразно обеспечивать соблюдение нормальных условий, то фиксируются действительные или установленные для поверяемого средства измерений значения влияющих величин с целью либо приведения результатов поверки к нормальным условиям, либо информации о действительных условиях ее выполнения.

♦ При этом под **влияющей физической величиной** понимают физическую величину, оказывающую влияние на размер измеряемой величины и (или) результат измерений. ♦

При установлении нормальных условий рекомендуется выбирать одно из следующих значений физических величин

Нормируемые метрологические характеристики средств измерений

Эксплуатация средств измерений часто происходит за пределами нормальных условий, но при сохранении их работоспособности.

> ♦ Составляющая погрешности, возникающая дополнительно к основной вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от установленного для нее диапазона нормальных условий, называется **дополнительной погрешностью средства измерений.** ♦

Дополнительные погрешности нормируются, как правило, в удельной форме. Например, в процентах с соответствующим знаком на каждые 10°С изменения температуры от номинального значения и т.п.

Одни и те же средства измерений могут применяться для измерений неизменных по величине физических величин и величин, изменяющихся по величине за время измерения. Если это различие приводит к изменению погрешности средства измерений, то говорят о наличии *статической* и *динамической* погрешностей средства измерений.

Погрешность средства измерений — его основная метрологическая характеристика. Все характеристики средства измерений как технического устройства классифицируются в качестве метрологических в зависимости от их влияния на величину погрешности: если какая-либо характеристика оказывает влияние, то она считается *метрологической.* В общем случае к метрологическим характеристикам средств измерений относят назначение, диапазон измерений, погрешность, влияющие величины [3].

Назначение указывает на то, какая физическая величина (или величины), в каких единицах (или шкалах) и в каком диапазоне (или диапазонах) измеряется данным средством измерений.

Влияющими являются величины, которые не указаны в назначении средства измерений, но оказывают влияние на его показания. Влияющие величины по отношению к объекту измерения подразделяются на внутренние и внешние.

Внешние влияющие величины характеризуют условия проведения измерений: температуру окружающего воздуха; его влажность; атмосферное давление; вибрацию основания, на котором размещается средство измерений; горизонтальность основания и т.п.

Внутренние *влияющие величины* характеризуют объект измерений, но не измеряются данным средством измерений. Их иногда называют *неинформативными параметрами измерительного сигнала.* Например, на показания напряжения переменного тока влияет его частота, и наоборот; на показания расходомера влияет вязкость измеряемой жидкости и т. п. Разработаны правила, в соответствии с которыми для каждого средства измерений должны приводиться все его метрологические характеристики. В противном случае, естественно, нарушаются требования единства измерений, так как результаты измерений воспроизвести невозможно. Эти правила сформулированы в ГОСТ 8.009—84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений». Характеристики делятся на группы:

• характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправки):

— функция преобразования измерительного преобразователя (прибора с неименованной шкалой или со шкалой, градуированной в единицах, отличных от единиц входной величины);

— значение однозначной или значения многозначной меры;

— цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;

— вид выходного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда кода средств измерений, предна значенных для выдачи результатов в цифровом коде;

• характеристики, систематической погрешности средства измерений:

— значение систематической составляющей A_c ;

— значения систематической составляющей A_c , математического ожидания $M[A_C]$ и среднего квадратического от клонения $S[A_c]$ систематической составляющей.

Задание математического ожидания и среднего квадратического отклонения для систематической погрешности практикуется в связи с тем, что для множества экземпляров средств измерений одного типа она рассматривается в качестве случайной величины. Если значения математического ожидания и среднего квадратического отклонения систематической погрешности изменяются по времени, то необходимо их нормировать в функциональной зависимости от времени. Методика оценки характеристик систематической погрешности средств измерений регламентирована руководящим документом РД 50-453—84 «ГСИ. Характеристики погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации. Методы расчета».

Для определения значения A_c выполняют два ряда *наблюдений* (операций, проводимых при измерении и имеющих целью своевременный и правильный отсчет показаний средства измерений) известной с достаточной точностью величины Лд, подаваемой на вход. При выполнении наблюдений первого ряда значение входной величины *X* медленно и плавно подводим к требуемому значению Хд со стороны меньших значений. Получаем ряд значений, который обозначим $X_{Mi} = X_M, X_{M2}, X_{M3}, \ldots, Xмп$-При выполнении наблюдений второго ряда величину *X* подводим к значению Хд со стороны больших значений и получаем ряд значений, который обозначим $X_{Бi} = X_{Б1,} X_{Б2,} X_{Б3}, \ldots, X_{Бп}$.

Для каждого ряда наблюдений находим среднее арифметическое значение систематической погрешности:

$$\Delta_М = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_{Мi} - X_Д}{n}; \quad \Delta_Б = \sum_{i=1}^{n} \frac{X_{Бi} - X_Д}{n}, \qquad (3.1)$$

где $\Delta_М$ — среднее значение систематической погрешности для ряда $X_{Мi}$;

$\Delta_Б$ — среднее значение систематической погрешности для ряда $X_{Бi}$;

n — количество членов рядов $X_{Мi}$, $X_{Бi}$.

На основании зависимостей (3.1) производим оценку систематической составляющей погрешности средства измерений:

$$\Delta_С = \frac{\Delta_М + \Delta_Б}{2}. \qquad (3.2)$$

Для совокупности средств измерений данного типа характеристики систематической составляющей погрешности определяются путем проведения многократных наблюдений известной величины $X_Д$ сравнительно большим числом *(m)* экземпляров средств измерений. По результатам наблюдений определяем средние арифметические значения для каждого испытываемого экземпляра. Обозначим ряд этих значений $X_i = X_1, X_2, X_3, ..., X_m$. Затем определим среднее арифметическое значение (X_{CD}) результатов этого ряда:

$$X_{\text{ср}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} X_j}{m}. \qquad (3.3)$$

Среднее арифметическое значение X_{CD} представляет собой оценку математического ожидания результата измерения величины $X_Д$ всеми m экземплярами исследуемых средств измерений. Теперь можем получить оценку математического ожидания систематической составляющей погрешности средств измерений данного типа:

$$\tilde{M}[\Delta_C] = X_{\text{ср}} - X_Д. \qquad (3.4)$$

Оценка среднего квадратического отклонения $\tilde{S}[\Delta_C]$ систематической составляющей погрешности совокупности средств измерений в точке $X_Д$ может быть рассчитана по зависимости:

$$\tilde{S}[\Delta_C] = \left(\frac{\sum_{i=1}^{m} (X_j - X_Д)^2}{m-1} \right)^{\frac{1}{2}} \qquad (3.5)$$

. *Характеристиками случайной составляющей погрешности средств измерений* являются или среднее квадратическое отклонение S[Δ], или среднее квадратическое отклонение S[Δ] и нормализованная автокорреляционная функция $г_д$[т], или функция спектральной плотности $S_Δ[ω]$.

Для определения среднего квадратического отклонения случайной составляющей погрешности средства измерений также необходимо произвести два ряда наблюдений со стороны меньших и больших значений известной величины $X_Д$. На практике, естественно, второй раз наблюдения не проводят, а используют результаты, полученные для определения систематической составляющей. В этом случае на первом этапе определяют значения погрешностей:

$$\Delta_{Мi} = X_{Мi} - X_Д; \quad \Delta_{Бi} = X_{Бi} - X_Д. \qquad \textbf{(3.6)}$$

Затем рассчитывают среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности экземпляра средств измерений данного типа:

$$S[\Delta] = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (\Delta_{Мi} - \Delta_М)^2 + \sum_{i=1}^{n} (\Delta_{Бi} - \Delta_Б)^2}{2n - 1} \right)^{\frac{1}{2}}. \qquad \textbf{(3.7)}$$

Среднее квадратическое отклонение случайной составляющей погрешности типа средств измерений не рассчитывается, а принимается равным предельно допустимому значению, установленному для данного типа средств измерений ($S_Д[\Delta]$).

2. *Характеристика случайной составляющей погрешности средств измерений* от явлений гистерезиса — вариация К выходного сигнала (показаний) средства измерений.

Оценка вариации выходного сигнала экземпляра средств измерений производится по зависимости:

$$V = [\Delta_М - \Delta_Б]. \qquad \textbf{(3.8)}$$

Вариация выходного сигнала средств измерений данного типа принимается равной установленному для типа значению ($V_Д$).

3. *Характеристика погрешности средств измерений* — значение собственно погрешности.

Погрешность экземпляра средств измерений определяется по формуле:

$$\Delta_{Э} = \Delta_{C} \pm K(S^2[\Delta] + \frac{V^2}{12})^{\frac{1}{2}}, \qquad (3.9)$$

где Δ_C — значение систематической составляющей погрешности средства измерений, полученное по зависимости **(3.2)**;

K — коэффициент, определяемый в зависимости от заданной вероятности по графику;

$S[\Delta]$ — среднее квадратическое отклонение случайной погрешности экземпляра средств измерений, определенное по зависимости **(3.7)**;

V — вариация показаний (выходного сигнала) средств измерений, определенная по зависимости **(3.8)**.

Погрешность типа средств измерений определяется по зависимости:

$$\Delta_{T} = M[\Delta_{C}] \pm K\left(\tilde{S}^2[\Delta_{C}] + S_{Д}^2[\Delta] + \frac{V_{Д}^2}{12}\right)^{\frac{1}{2}}, \qquad (3.10)$$

где $M[\Delta_C]$ — математическое ожидание систематической составляющей погрешности средств измерений данного типа, определенное по зависимости **(3.4)**;

$\tilde{S}[\Delta_C]$ — среднее квадратическое отклонение систематической составляющей погрешности средств измерений данного типа, определенное по зависимости **(3.5)**;

$S_Д[\Delta], V_Д$ — предельно допустимые значения соответственно среднего квадратического отклонения и вариации случайной составляющей погрешности средств измерений данного типа.

Как следует из зависимости (3.10), погрешность средств измерений определенного типа рассматривается как случайная величина во всем интервале изменения значения влияющей величины.

4. *Характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам:*

• функции влияния;

• величина изменения значений метрологических характеристик, обусловленная изменением влияющих величин в установленных пределах.

5. *Динамические характеристики средств измерений* подразделяются на характеристики, устанавливаемые для всех средств измерений, характеристики аналоговых средств измерений, характеристики цифровых измерительных приборов и аналого-цифровых преобразователей и характеристики цифроаналоговых преобразователей.

В качестве общих динамических характеристик устанавливаются:
• переходная характеристика;
• импульсная переходная характеристика;
• амплитудно-фазовая характеристика (АФХ);
• амплитудно-частотная характеристика (АЧХ), которая устанавливается для минимально фазовых средств измерений;
• совокупность АЧХ и фазочастотной характеристик;
• передаточная функция.
К динамическим характеристикам аналоговых средств измерений относятся:
• время реакции;
• коэффициент демпфирования;
• постоянная времени;
• значение АЧХ на резонансной частоте;
• значение резонансной собственной круговой частоты.
Для аналого-цифровых преобразователей (АЦП) и цифровых измерительных приборов (ЦИП), время реакции которых не превышает минимально возможного интервала времени между двумя измерениями, устанавливаются:
• время реакции;
• погрешность регистрации времени отсчета;
• максимальная частота (скорость) измерения.
К динамическим характеристикам цифроаналоговых преобразователей относятся:
• время реакции;
• переходная характеристика.

Неинформативные параметры выходного сигнала средств измерений. Под неинформативными понимают параметры выходного сигнала средств измерений, которые не несут в себе информации об измеряемой величине.

Перечисленные выше группы метрологических характеристик являются основой, перечнем, из которого следует выбирать соответствующие специфике конкретного типа (экземпляра) средства измерений. Нормирование, т.е. количественное ограничение метрологических характеристик средств измерений, производят двумя способами:

(1) установлением номинальных (приписанных) значений, распространяющихся на все средства измерений данного типа и служащих для подбора типа, удовлетворяющего условиям проведения измерений, в том числе и по точности;

(2) установлением предельных, граничных значений, позволяющих решить все задачи по обеспечению единства из мерений: осуществить поверку средств измерений; рассчитать как составляющие, так и суммарное значение по грешности средства измерений и т.д.

Расчет характеристик погрешности средств измерений в реальных условиях эксплуатации, в весьма упрощенном виде представленный выше, базируется на положениях, установленных в [59]. Используются два подхода к их определению:

1) первый подход заключается в установлении значений характеристик расчетным путем статистическими методами по результатам экспериментальных исследований. Расчет базируется на пренебрежении факторами, имеющими ма лое влияние, при наличии трех и более факторов, оказывающих заметное воздействие на величину той или иной метрологической характеристики. Характерная особенность метода — установление ширины доверительного интервала с заданным уровнем вероятности нахождения в нем реального значения характеристики;
2) второй подход основан на суммировании предельных (максимально установленных любым путем: расчетным или теоретическим) значений составляющих с целью получить предельные значения метрологических характеристик средства измерений.

Такой подход при наличии нескольких влияющих величин дает за счет арифметического суммирования завышенные, ухудшенные значения характеристик. Но при этом повышается гарантия, что малозначимые, неучтенные факторы не окажут влияния на метрологические характеристики средства измерений. Фактически речь идет об определении метрологических характеристик с доверительной вероятностью, равной единице. Этот метод предпочтителен для определения метрологических характеристик средств измерений, при меняемых при проведении особо важных и дорогостоящих экспериментов

Класс точности средств измерений

На основании установленных значений метрологических характеристик средства измерений подразделяют по классам точности. *Класс точности средств измерений* — это обобщенная характеристика, применяемая для типа средств измерений. Класс точности, как правило, отражает уровень точности средств измерений и другие метрологические характеристики, влияющие на точность. Правила установления классов точности и отнесения к ним средств измерений сформулированы в ГОСТ 8.401—80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования». Стандартом регламентированы способы назначения классов точности в зависимости от способа выражения пределов допускаемых погрешностей средств измерений. Предусматривается выражение предельно допускаемых погрешностей абсолютными, относительными и приведенными значениями.

Абсолютная погрешность должна быть выражена уравнением вида

$$\Delta = \pm a \quad \text{или} \quad \Delta = \pm (a + bX), \tag{3.11}$$

где Δ — предел допускаемой абсолютной погрешности средства измерений, выраженной в единицах величины на входе (выходе) или в делениях шкалы;

a — именованное положительное число, выраженное в тех же единицах, что и X;

b — отвлеченное положительное число;

X — значение величины на входе (выходе) средства измерений или число делений, отсчитанное по его шкале.

Относительная погрешность средства измерений выражается уравнением:

$$\delta = \frac{\Delta}{X} = \pm c \quad \text{или} \quad \delta = \pm \left[c + d\left(\left|\frac{X_K}{X}\right| - 1\right)\right], \tag{3.12}$$

где δ — предел допускаемой относительной погрешности, %;

c, d — отвлеченные положительные числа, выбираемые из ряда возможных значений $[(1; 1{,}5; 1{,}6); 2; 2{,}5; (3); 4; 5; 6] \cdot 10^n$ ($n = 1; 0; -1; -2; \ldots$); $c = b + d$; $d = \dfrac{a}{|X_K|}$;

X_K — больший по модулю предел измерений.

Приведенную погрешность средства измерений устанавливают в виде:

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100}{X_N}, \tag{3.13}$$

где γ — предел допускаемой приведенной погрешности, %;

X_N — нормирующее значение, равное:

• конечному значению шкалы прибора, если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы;

• сумме конечных значений шкалы прибора (без учета знаков), если нулевая отметка находится внутри шкалы;

• номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено;

• длине шкалы, если шкала неравномерная (логарифмическая или гиперболическая). В этом случае погрешность и длина шкалы выражаются в одних единицах.

Классы точности обозначаются буквами, цифрами и другими знаками, позволяющими проставлять обозначения в документации и на средствах измерений наиболее технологичным способом. Например, класс точности лабораторных весов обозначается символами 1; 11; 111; 1111. Класс точности гирь — буквами латинского алфавита и т.д. Обозначения и номера классов точности позволяют четко определить место средств измерений в поверочной схеме и установить их подчиненность эталонам. Классы точности, хотя и не являются напрямую указателями точности средств измерений, все же в пределах одного вида средств измерений[1] позволяют сопоставлять их в категориях «точнее — грубее».

Испытания и утверждение типа средств измерений

Лицензия на право изготовления средств измерений выдается на срок действия «Сертификата об утверждении типа», получаемого заявителем в соответствии с правилами по метрологии ПР 50.2.009—94 «ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений».

Правила устанавливают порядок проведения испытаний для утверждения нового типа средств измерений или для подтверждения соответствия испытываемых средств измерений уже имеющемуся типу. На основании полученных результатов испытаний принимают решение об утверждении типа средств измерений и внесении средств измерений в Государственный реестр. Утверждение типа может быть произведено для импортируемых средств измерений на основе результатов их испытаний, проведенных в стране расположения фирмы-изготовителя.

Утверждение типа средств измерений проводит Ростехрегулирование, так как эти работы представляют собой одну из форм государственного метрологического контроля в целях обеспечения единства измерений в стране.

Испытания на утверждение типа средств'измерений проводятся организациями, аккредитованными Ростехрегулированием в качестве государственных центров испытаний средств измерений (ГЦИ СИ) и внесенными в Государственный реестр средств измерений. Цель этих испытаний — проверка соответствия технической документации и технических характеристик средств измерений требованиям технического задания, технических ус ловий и распространяющихся на них нормативных и эксплуатационных документов, включающих методики поверки средств измерений. При положительном исходе испытаний Ростехрегу-лирование принимает решение об утверждении типа, которое удостоверяется сертификатом об утверждении типа. На основании выданного сертификата производится регистрация средств измерений в Государственном реестре. С этого момента средства измерений считаются допущенными к эксплуатации в стране.

Испытания проводят по программе, утвержденной или согласованной с ГЦИ, которая должна включать в себя определение метрологических характеристик конкретных образцов средств измерений и экспериментальную ап робацию методики поверки. На испытания должны быть представлены:

• образец (образцы) средств измерений;

• программа испытаний типа, утвержденная ГЦИ СИ;

• технические условия, подписанные руководителем организации-разработчика;

• эксплуатационные документы. Для импортируемых средств измерений — комплект документации фирмы-изготовителя, прилагаемый к средству измерений, с переводом на русский язык;

• нормативный документ по поверке (в случае отсутствия раздела «Методика поверки» в эксплуатационной документации);

• описание типа и фотографии средства измерений;

• разрешение организации-разработчика допустимости опубликования описания типа в открытой печати.

Контроль соответствия средств измерений утвержденному типу осуществляется путем проведения испытаний на соответствие типу. Эти испытания проводят органы Ростехрегулирования по месту расположения изготовителей или пользователей соответствующих средств измерений. Испытания проводятся в случае:

• наличия информации от потребителей об ухудшении качества выпускаемых или импортируемых средств измерений;

• внесения в конструкцию или технологию изготовления средств измерений изменений, влияющих на их нормиро ванные метрологические характеристики;

• истечения срока действия сертификата об утверждении типа. На испытания представляются:

• копия сертификата об утверждении типа;
• копия акта испытаний средств измерений для целей утверждения типа и акт последних испытаний на соответ ствие типу;
• технические условия;
• эксплуатационные документы.

Измерения

Результат измерения и его характеристики

Элементы теории вероятностей и характеристики распределения случайных величин

Виды измерений. Основное уравнение измерений

Общие требования к проведению измерений

Методики выполнения измерений

Обработка результатов прямых однократных измерений

Обработка результатов прямых многократных измерений

Обработка результатов косвенных измерений

Результат измерения и его характеристики

♦ **Измерение** — это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или неявном виде) измеряемой величины с ее единицей и получение значения данной величины. ♦

Результат измерения представляет собой конечный продукт некоего производственного процесса, имеющего, как и любая другая продукция, свои показатели качества. Среди них важнейшим с учетом того, что речь идет об измерительном процессе, показателем качества является точность полученного результата.

Под *точностью результата измерений* понимают одну из его характеристик, отражающую близость к нулю погрешности.

Погрешность результата измерения — это отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины. Так как истинное значение может быть получено только в результате бесконечного процесса измерений и требует непрерывного совершенствования методов и средств измерений, то оно всегда остается неизвестным. В практических целях вместо ис-тинного значения используется *действительное значение измеряемой величины,* т.е. значение, полученное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному, что в рамках поставленной измерительной задачи может быть использовано вместо него. Таким образом, погрешность измерения может быть вы ражена зависимостью:

$$\Delta X = X_{изм} - X_{Д}, \qquad (4.1)$$

где $X_{изм}$ — измеренное значение величины;
$X_{Д}$ — действительное значение величины.

Значение *АХ* получило название *абсолютной погрешности измерения.* Абсолютная погрешность измерения выражена в единицах измеряемой величины. К сожалению, судить по значению абсолютной погрешности о качестве измерения нельзя. Действительно, если известно, что погрешность измерения составляет ± 1 мм, то оценить его качество затруднительно. Необходимо сопоставить значение абсолютной погрешности и значение измеренной величины. Эта задача решается введением понятия *относительной погрешности измерения.* Относительная погрешность измерения рассчитывается как отношение абсолютной погрешности к действительному (или измеренному) значению величины. Относительную погрешность выражают в долях единицы или в процентах в соответствии с зависимостью:

$$\delta = \frac{\Delta X}{X} \text{ или } \delta = \frac{\Delta X}{X} \cdot 100\%. \qquad \textbf{(4.2)}$$

По закономернорти появления погрешности делятся на систематические и случайные. При этом, как правило, самостоя тельного значения они не имеют, а рассматриваются в качестве составляющих собственно погрешности измерения.

♦ **Систематической погрешностью измерения** называется составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины. ♦

Рекомендациями МИ 1317—04 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов и контроле их параметров» установлено, что в качестве характеристик систематической погрешности измерения целесообразно использовать среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической составляющей или границы, в которых неисключенная систематическая составляющая находится с заданной вероятностью (в том числе и с вероятностью, равной единице).

Первая характеристика получила название точечной; вторая — интервальной. При проведении измерений принято вводить поправки в результаты и исключать систематическую составляющую. Однако всегда остаются погрешности вычисления и погрешности в определении значения самих поправок, а также систематические составляющие, ввести поправки на величину которых не представляется возможным ввиду их малости. Поэтому считается, что результат всегда содержит систематическую составляющую погрешности измерения, которую называют *неисключенной.*

♦ **Случайной погрешностью измерения** называется составляющая погрешности, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях одной и той же физической величины, проведенных с одинаковой тщательностью. ♦

В качестве характеристик случайной составляющей погрешности используются ее среднее квадратическое отклонение и (при необходимости) нормализованная автокорреляционная функция.

Для характеристики погрешности измерений кроме характеристик случайной и систематической составляющих используются среднее квадратическое отклонение и границы, в пределах которых погрешность измерений находится с заданной вероятностью. Точечные характеристики рекомендуется использовать в случаях, когда результаты измерений (испытаний) используются совместно с другими результатами измерений, а также при расчетах погрешностей величин, функционально связанных с результатами измерений (например, результатов косвенных измерений). Интервальные характеристики используются для решения определенных технических задач. Если интервал ограничен наибольшим и наименьшим значениями погрешности измерений, а истинное значение погрешности находится внутри него с заданной вероятностью, то этот интервал называется *доверительным интервалом,* а вероятность — *доверительной вероятностью.*

В связи с тем, что истинное значение и измеряемой величины, и погрешности результата измерения неизвестны, а измерениям подвергаются все больше величин, для которых само определение «физическая величина» неприменимо, в последнее время для оценки качества измерительной информации все чаще используется понятие «неопределенность измерений».

Неопределенность измерений — параметр, связанный с результатом измерений и характеризующий рассеяние значений, которые можно приписать измеряемой величине. ♦

Этим параметром может быть среднее квадратическое отклонение (стандартное отклонение), число, кратное ему, или половина доверительного интервала. Неопределенность состоит, как правило, из многих составляющих. Некоторые из этих составляющих могут быть оценены экспериментально определенными средними квадратическими отклонениями в статистически распределенной серии результатов измерений. Другие составляющие, которые также могут быть оценены стандартными отклонениями, базируются на данных эксперимента или другой информации. Структурно неопределенность результата измерения обычно состоит из нескольких составляющих, которые могут быть вызваны следующими причинами:

• неполным описанием (неточным определением) измеряемой величины;
• несовершенной реализацией описания (несовершенством выбранного метода измерения);
• неполным учетом влияющих величин и несовершенством методов их измерения;
• субъективными погрешностями оператора;
• конечной величиной разрешающей способности примененных средств измерений;
• неточными значениями констант и других параметров, полученных от внешних источников и используемых в алго ритме обработки результатов эксперимента, и др.

Эти составляющие определяют также и погрешность измерения. Еще раз отметим, что основное различие между неопределенностью и погрешностью состоит в представлении о существовании истинного значения. Если в начальный постулат заложено существование истинного значения, то это неизбежно приводит к определению погрешности измерения. Если существование истинного значения отрицается, то следствием является представление о неопределенности результата измерения.

Составляющие неопределенности по способу получения их численных значений подразделяются на две категории: *A* и *B*.

К категории *A* относят составляющие, численные значения которых получены на основе статистического анализа экспериментальных данных. Это стандартные отклонения (средние квадратические отклонения). При достаточно большом числе наблюдений данные оценки (среднее арифметическое значение и стандартное отклонение) являются наилучшими. Составляющие, относимые к категории *B,* оцениваются любым другим способом, кроме статистического анализа. Для их оценки используется аппарат субъективной теории вероятностей на основе априорной информации — справочных материалов, экспертных оценок, данных предварительных измерений и т.д.

ДЛЯ оценки составляющих погрешности и неопределенности результата измерения используются такие характеристики, как среднее арифметическое значение, среднее квадратическое отклонение и др. Для лучшего понимания предлагаемого материала рассмотрим некоторые понятия и определения теории вероятностей и математической статистики, применяемых в метрологии.

Наличие случайной составляющей погрешности измерения приводит к тому, что для получения результата измерения целесообразно рассматривать измеряемые величины как случайные. Кроме того, сами случайные погрешности могут быть определены только с привлечением аппарата теории вероятностей, которая представляет собой науку, изучающую закономерности случайных явлений. Теория вероятностей устанавливает закономерности только для массовых явлений, т.е. таких явлений, которые могут повторяться многократно при одних и тех же условиях. В метрологии массовыми являются измерения, проводимые с помощью одного и того же средства измерений, характеристики множества средств измерений одного типа и др.

Для того чтобы охарактеризовать случайную погрешность измерения, обратимся к определению случайного события и его вероятности.

Обозначим случайное событие *A* и будем иметь в виду, что большинство событий в метрологии понимаются как выполнение соотношения

$$x \le X_{\text{гр}},$$

где $X_{\text{гр}}$ — допустимое значение x.

Вероятность случайного события является численной мерой объективной возможности этого события и определяется по формуле:

$$P(A) = \frac{m}{n}, \qquad (4.3)$$

где $P(A)$ — вероятность появления случайного события A в опыте (эксперименте, испытаниях и т.д.);
m — число случаев появления события A;
n — общее число каких-либо событий, появляющихся (могущих появиться) в результате проведения опыта, включая событие A ($m \leq n$).

Определение числа n — числа всех возможных исходов опыта — часто весьма затруднительно, но самое главное, что в метрологии попросту невозможно ввиду ограниченной возможности повторения опытов. Число m — количество раз, когда событие A в результате опыта наступило, в метрологии также определяется на основе ограниченного числа опытов. Поэтому в практике метрологических работ вместо вероятности используют частоту появления случайного события A:

$$P^*(A) = \frac{M}{N}, \qquad (4.4)$$

где $P^*(A)$ — частота появления события A в проведенных опытах;
M — количество раз, когда событие A наступало;
N — общее число результатов опытов.

Частоту $P^*(A)$ ввиду ее использования в роли вероятности в практике метрологических работ называют *статистической вероятностью.*

Свойства случайной величины исчерпывающе описываются законом распределения случайной величины, который представляет собой соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

Случайные величины можно разделить на дискретные и непрерывные. Значения дискретной случайной величины могут быть перечислены. Значения непрерывной случайной величины непрерывно заполняют некоторый интервал. Случайные погрешности измерений относятся к непрерывным случайным величинам, но проявляются часто в виде некоторого набора значений, т.е. дискретно. Поэтому к ним применимы понятия и непрерывных, и дискретных случайных величин.

Виды измерений.

Основное уравнение измерений

Искомое значение получают, как правило, в виде числа, показывающего, во сколько раз измеряемая величина больше или меньше однородной с ней величины, размер которой принят за единицу, т.е. результат измерений всегда выражается в единицах, которые хранят и воспроизводят средства измерений. Уравнение измерения, таким образом, имеет вид:

$$Q = q\,[Q], \qquad (4.28)$$

где Q — измеряемая величина;
q — числовое значение измеряемой величины (отсчет показания по средству измерений);
$[Q]$ — единица величины, хранимая и воспроизводимая применен-ным средством измерений.

Представленное уравнение описывает физический смысл измерения, но не учитывает всего многообразия преобразова ний, которые измеряемая величина претерпевает в процессе измерения. Действительно, совсем необязательно получение на выходе числового значения величины, однородной с измеряемой (например, измерение объема жидкости по результатам измерения ее массы). В этом случае уравнение измерения может быть представлено в виде:

$$Q = F\{q_1[Q_1] + q_2[Q_2] + q_3[Q_3] + \ldots + q_n\,[Q_n]\}, \qquad (4.29)$$

где Q — измеряемая величина;
$q_1, q_2, q_3, \ldots q_n$ — числовые значения величин, измеряемых 1-м; 2-м, 3-м, ..., n-м средством измерений (отсчеты показаний), примененных в соответствии с выбранной моделью процесса измерения;
$[Q_1], [Q_2], [Q_3], \ldots, [Q_n]$ — единицы величин, хранимые и воспроизводимые примененными при измерениях средствами измерений;
F — функция связи между величиной Q и величинами $Q_1, Q_2, Q_3, \ldots, Q_n$

Результат измерения представляет собой конечный продукт производственного процесса, имеющего свои показатели качества как измерительного процесса и, конечно, важнейший из них — точность полученного результата. Под точностью результата измерений понимают одну из его характеристик, отражающую близость к нулю погрешности.

Из сопоставления формул (4.28) и (4.29) видно, что первая, очевидная, составляющая погрешности измерения величины Q, — это погрешность примененного средства измерений, включая погрешность отсчета его показаний. Однако, применив другую модель процесса измерений, мы получаем другую (более простую или более сложную) структуру его погрешности, куда входит, как это следует из зависимости (4.29) дополнительно по отношению к зависимости (4.28), погрешность, вносимая функцией преобразования F.

Уравнение измерения является основным признаком, по которому измерения классифицируются с целью разделения методов обработки экспериментальных данных и получения характеристик погрешности результата. Известно достаточно много классификаций измерений (по виду измеряемой величины, по виду представления измерительной информации и др.). По виду уравнения измерения, связывающего измеряемую и непосредственно наблюдаемую величины, измерения подразделяются на прямые, косвенные, совместные и совокупные

♦ **Прямыми** называются измерения, при которых искомое значение физической величины получают непосредственно (например, измерение массы на весах). ♦

Прямые измерения характеризуются уравнением измерения (4.28), которое соответствует преобразованию вида:

$$Q = cX, \qquad (4.30)$$

где Q — значение измеренной величины;

c — коэффициент (постоянный или переменный);

X — непосредственно наблюдаемая величина

♦ **Косвенными** называются измерения, при которых определение искомого значения физической величины производится на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой (например, определение объема тела по результатам его трех измерений). ♦

Уравнение косвенных измерений характеризуется зависимостью (4.29), а преобразования имеют вид:

$$Q = F(X_1, \ldots, X_n), \qquad \textbf{(4.31)}$$

где Q — значение измеренной величины;
F — некоторая функция;
$X_1, \ldots, X_n$ — непосредственно наблюдаемые величины.

Совместными называются проводимые одновременно измерения двух или нескольких неодноименных величин для определения зависимости между ними (например, измерение температуры и плотности вещества). ♦

♦ **Совокупными** принято называть проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемой в результате измерений этих величин в различных сочетаниях (например, определение массы отдельных гирь из набора при известном значении лишь одной из них). ♦

При проведении совокупных измерений реализуется метод измерения сумм или разностей искомых значений этой вели чины в различных сочетаниях

Вторым важным классификационным признаком, определяющим качество результатов измерений и технологию их по лучения, является разделение измерений на однократные и многократные. Напомню, что *однократным* измерением называется измерение, выполненное один раз, а *многократным* — измерение, результат которого получен из нескольких, следующих друг за другом, измерений (т.е. состоящее из ряда однократных измерений).

Общие требования к проведению измерений

Общие требования к проведению измерений установлены рекомендациями МИ 2091—90 «ГСИ. Измерения величин. Общие требования» и должны применяться при разработке нормативных документов, регламентирующих правила выполнения как однократных, так и многократных измерений.

При подготовке к измерениям Необходимо учитывать соблюдение некоторых общепринятых и установленных в нормативно-технической документации правил:

• результаты измерений должны выражаться в единицах величин, соответствующих требованиям ГОСТ 8.417;

• измерения должны выполняться средствами измерении, прошедшими испытания и поверку (калибровку);

• правила выполнения наиболее ответственных, повторяющихся и сложных измерений (прямых многократных, косвенных, совокупных, совместных, имеющих существенные методические составляющие, требующих обработки измерительной информации и др.) рекомендуется регламентировать методиками выполнения измерения;

• при планировании измерений необходимо проанализировать правильность постановки измерительной задачи, установить требования к погрешности измерений, числу измерений, квалификации оператора, форме представления результатов измерений и предусмотреть мероприятия, обеспечивающие их выполнение.

Анализ правильности постановки измерительной задачи включает:

• выбор модели, которая соответствует свойствам объекта. Выбор модели следует производить таким образом, чтобы погрешности из-за несоответствия выбранной модели объекту измерений и из-за нестабильности измеряемых физических величин в течение времени, необходимого для проведения измерения, не превышали 10% от предела допускаемой погрешности измерений каждая;

• определение номенклатуры измеряемых параметров;

• оценку предполагаемой точности результата измерений и формы его представления

Требования к погрешности результата измерений должны соответствовать цели измерительной задачи. Эту погрешность целесообразно оценить предварительно с учетом ее предполагаемых источников. Предварительную оценку погрешности измерений производят путем суммирования всех составляющих погрешностей, возникновение которых предполагается при выполнении измерений. Если ожидаемая погрешность не соответствует требованиям точности измерительной задачи, следует проанализировать предполагаемые источники погрешности и осуществить мероприятия по их уменьшению (выбрать более точное средство измерений, изменить метод измерений, поручить измерения более квалифицированному оператору, уточнить влияющие величины и уменьшить их воздействие);

• проведение (при необходимости) предварительных измерений.

Результат измерений обычно сопровождается указанием погрешности, с которой выполнено измерение. В зависимости от цели измерительной задачи погрешность результата измерений может быть представлена своими составляющими или суммарной погрешностью с указанием доверительной вероятности. Выбор характеристик погрешности измерений, форм их представления и способов использования должны соответствовать МИ 1317.

Обеспечение точности измерений Точные измерения отличаются отсутствием промахов (результатов, не соответствующих свойствам измеряемого объекта, а являющихся следствием действия посторонних, кратковременных причин, как-то: сбой в системе энергопитания, ошибка оператора и т.п.) и малостью систематических и случайных погрешностей. Спрогнозировать промахи невозможно. Их наличие определяется в процессе проведения измерений при обработке результатов. Промахи исключают из результатов измерений.

При однократных измерениях обнаружить промах очень трудно, так как отсутствует сама возможность его диагностики. В этом случае главное — профилактика (стабилизация источников питания и других условий функционирования средств измерений и т.д.). Самое надежное средство от промахов — повторить измерения два-три раза, а за результат измерений принять среднее арифметическое полученных отсчетов.

При многократных измерениях для обнаружения промахов используют статистические критерии. Предварительно должно быть проверено, какому виду распределений соответствует распределение результатов измерений. Для результатов измерений, распределенных нормально, наибольшее (наименьшее) значение из полученных отсчетов является промахом, если удовлетворяется неравенство:

$$\max \left| \frac{x_i - \bar{X}}{S^*} \right| \geq T(q, n), \quad i = 1, \ldots, n, \qquad (4.36)$$

где x_i — результаты измерений;
$\bar{X}$ — среднее арифметическое результатов измерений;
S^* — смещенное среднее квадратическое отклонение результатов измерений;
$T(q, n)$ — квантиль распределения, соответствующий уровню значимости q и числу измерений n;
n — число измерений.

Наряду с промахами из результатов измерений путем введения поправок должны быть устранены обнаруженные *систематические погрешности.* Неисключенные остатки систематических погрешностей, границы которых обозначим Θ, оцениваются нестатистическими методами в соответствии с требованиями ГОСТ 8.207.

Причины, вызывающие систематические погрешности, различны по своей природе, поэтому трудно установить единые правила по их обнаружению и исключению. Все же существуют общие (не исчерпывающие) правила проведения работ по выявлению и устранению этих погрешностей:

- поверка применяемых СИ с целью определения действительного значения их погрешностей;
- предварительный анализ методической погрешности с целью введения поправок;
- проведение измерений влияющих величин;

- поддержание стабильности условий измерений;
- использование метода замещения;
- устранение влияния вариации;
- исключение погрешности от мертвого хода (люфта);
- измерение одной величины несколькими независимыми методами и несколькими СИ и т.п.

Точность полученных при измерении отсчетов и последующих вычислений при их обработке должна соответствовать требуемой точности результата измерений. Число разрядов при отсчете и в промежуточных вычислениях должно быть на единицу или две больше, чем в окончательном результате.

Условия выполнения измерений В зависимости от требований измерительной задачи измерения могут выполняться как в нормальных, так и в рабочих условиях.

При выполнении измерений в нормальных условиях должно быть выделено рабочее пространство (рабочее место, комната, лаборатория, цех), действием влияющих величин внутри которого можно пренебречь. При выборе номинальных значений и

пределов допускаемых отклонений влияющих величин для нормальных условий следует руководствоваться ГОСТ 8.395.

Если действием влияющих величин внутри рабочего пространства пренебречь нельзя, их измеряют с целью расчета и последующего введения поправок в результаты измерений или с целью расчета дополнительных погрешностей.

Погрешность средств измерений, применяемых для контроля влияющих величин, должна составлять не более 25% от изменения влияющей величины.

Для обеспечения возможности сопоставления результатов измерений они должны выполняться в одинаковых условиях или их результаты должны приводиться к одинаковым условиям, чаще всего к нормальным.

Выбор метода и средства измерений осуществляется исходя из условия выполнения измерительной задачи. Главное требование — обеспечить требуемую измерительной задачей точность измерений в данных условиях измерений.

При выборе средства измерений прежде всего учитывают принцип его действия, приемы применения, метрологические характеристики, характеристики надежности, стойкость к внешним воздействиям и др. Рекомендации по выбору методов и средств измерений с учетом факторов, характерных для технических измерений, изложены в МИ 1967.

Метод измерений должен по возможности иметь минимальную погрешность и способствовать исключению систематических погрешностей или переводу систематических погрешностей в разряд случайных (рандомизация систематических погрешностей). Например, с целью исключения систематических погрешностей из-за неадекватности модели измеряемому объекту намечают выполнение измерений в нескольких точках; для исключения систематических погрешностей от вариации, гистерезиса, мертвого хода измерения выполняют при подходе к определенной точке шкалы слева и справа.

В соответствии с выбранным методом и средством измерений целесообразно предварительно оценить погрешность измерений Δ_{Σ}, включающую погрешность средств измерений, метода, оператора и погрешности, обусловленные внешними воздействиями, и сравнить ее с пределом допускаемой погрешности измерений Δ_{p}. Если $\Delta_{\Sigma} < \Delta_{p}$, то выбранные метод и средства измерений обеспечивают получение результата с заданным уровнем погрешности. В противном случае уточняют правильность выбранного метода, условий выполнения измерений или выбирают более точное средство измерений. Для выполнения однократных измерений предпочтительны средства измерений с воз можно меньшей случайной погрешностью.

Определение требуемого числа измерений Принципиально число измерений n может быть произвольным, однако если существует возможность проведения многократных измерений, то за счет их количества можно минимизировать случайную составляющую погрешности измерения. Таким образом, многократные измерения имеют смысл при сопоставимости значений систематической и случайной составляющих погрешности результата или при преобладающем значении случайной погрешности. Исходя из этой предпосылки максимальное значение случайной составляющей может быть равно допускаемой погрешности измерения (систематическая составляющая равна нулю). При появлении и росте значения систематической составляющей соответственно должна уменьшаться случайная составляющая погрешности измерения. В этом случае число измерений должно удовлетворять неравенству:

$$n \geq \frac{t^2_{q,n} S^2}{\Delta_{\text{гр}}}, \qquad \textbf{(4.44)}$$

где $t^2_{q,n}$ — коэффициент Стьюдента;

S — среднее квадратическое отклонение группы результатов измерений.

Число измерений может быть увеличено при наличии существенных систематических погрешностей (метода, средства измерений, оператора) с целью их перевода в случайные (рандомизация систематических погрешностей).

Обработка и представление результатов измерений Обработке результатов измерений предшествует этап их анализа.

Если при анализе процесса измерений удалось установить источник появления промахов (неверное действие оператора, падение напряжения в электрической сети, магнитные бури и другие причины), то их исключают перед обработкой результатов измерений. Если причины появления промахов неизвестны, то для решения вопроса о возможности их исключения используют статистические критерии.

Обнаруженные систематические погрешности измерения (систематические погрешности средств измерений, метода, оператора, воздействия влияющих факторов) исключают из результатов измерений внесением поправок, а неисключенные систематические и случайные погрешности составляют погрешность результата измерений.

Обработка прямых однократных измерений проводится в соответствии с Р 50.2.038—04, прямых многократных измерений — в соответствии с ГОСТ 8.207, косвенных измерений — в соответствии с МИ 2083. Обработка результатов сличений при совокупных измерениях изложена в МИ 1832.

Результаты измерений в зависимости от цели измерительной задачи могут быть представлены числом, в виде таблицы, графика или в другом виде.

Формы представления результатов измерений и их погрешностей должны соответствовать МИ 1317.

Погрешность результата измерений выражают, как правило, одной значащей цифрой. Две значащие цифры в погрешности результата измерения сохраняют:

- при точных измерениях;
- если первая значащая цифра не более трех;
- если предел допускаемой погрешности задан двумя значащими цифрами

Методики выполнения измерений

ДЛЯ обеспечения единства измерений недостаточно иметь поверенные средства измерений, так как погрешность измерений может содержать в качестве составляющих погрешности метода, оператора, условий применения средств измерений и др. Нередки случаи, когда погрешность средства измерений в общей погрешности измерений составляет всего 10—20%.

Получение результатов измерений с известной погрешностью или с погрешностью, не превышающей допускаемых пределов (норм точности измерений), — одно из важнейших условий обеспечения единства измерений. Именно с этой целью в статье 9 Закона РФ «Об обеспечении единства измерений» установлено, что измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными методиками. Данное требование относится к измерениям, выполняемым в сферах, определенных статьей 13 Закона.

Постановлением Госстандарта РФ от 23 мая 1996 г. № 329 утвержден и введен в действие ГОСТ 8.563—96 «ГСИ. Методики выполнения измерений».

• Согласно этому стандарту **методика выполнения измерений**

(МВИ) — совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение результатов измерений с известной погрешностью. ♦

Из определения видно, что **МВИ** — это технологический процесс измерений. Его не следует смешивать с документом на МВИ. Не все **МВИ** описываются или регламентируются документами. Для измерений величин с помощью простых средств измерений документированные МВИ не требуются. Достаточно лишь указаний в конструкторской или технологической документации типов и основных метрологических характеристик средств измерений. Если разработка **МВИ** необходима, то она Должна иметь следующую структуру и примерное содержание (табл.)

Таблица 4.2. **Структура и примерное содержание МВИ**

	Структура МВИ	*Содержание МВИ*
1	Вводная часть (введение)	Назначение и область применения МВИ
2	Требования к погрешности измерений (характеристики погрешности измерений)	Указание числовых значений требуемых или приписываемых характеристик погрешности (неопределенности) результата измерения или ссылка на документ, в котором они приведены
3	Средства измерений, вспомогательные устройства, материалы, растворы	Перечень средств измерений и других технических устройств, применяемых при выполнении измерений в соответствии с МВИ, их метрологические характеристики с указанием необходимой НТД, со схемами и чертежами
4	Требования безопасности, охрана окружающей среды	Указание необходимых сведений
5	Требования к квалификации операторов	Указания (при необходимости) о требуемой специальной подготовке оператора
6	Условия измерений	Перечень и значения влияющих величин
7	Подготовка к выполнению измерений	Перечень операций и показатели их выполнения, которые необходимо провести перед началом измерений
8	Выполнение измерений	Описание операций измерения, их последовательность, количество измерений, их периодичность, регистрация результатов и т.д.
9	Обработка (вычисление) результатов измерений	Описание процедуры получения результата по экспериментальным данным; могут быть даны ссылки на соответствующую НТД
10	Оформление результатов измерений	Требования к форме представления результатов измерений

♦ **Аттестация МВИ** — это процедура установления и подтверждения соответствия МВИ предъявляемым к ней требованиям. ♦

Следует отличать аттестацию от метрологических исследований МВИ. В результате метрологических исследований устанавливаются метрологические характеристики, а при аттестации на основе результатов исследований делается вывод о соответствии МВИ заданным требованиям или приписанным характеристикам (регламентированным в документе на МВИ). Аттестации должны подвергаться МВИ, применяемые в сферах распространения государственного контроля и надзора. Ее проводят Государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), территориальные структуры Ростехрегулирования (ЦСМ) и другие метрологические службы (МС), аккредитованные на право проведения аттестации МВИ.

Обработка результатов прямых однократных измерений

Методика получения результата при проведении однократных прямых измерений установлена рекомендацией Р 50.2.038—2004 «ГСИ. Измерения прямые однократные. Оценивание погрешностей и неопределенности результата измерений». В соответствии с рекомендацией за результат однократного прямого измерения принимается значение величины (обозначим *Л),* полученное при измерении. Рассматриваемая методика построена таким образом, чтобы имелась возможность определения и погрешности, и неопределенности измерения.

Исходные данные:

(1) составляющие погрешности результата измерения известны (перечислены) до начала проведения измерения;

(2) известные систематические погрешности исключены (внесены поправки на все известные источники неопре деленности, имеющие систематический характер);

(3) распределение случайных погрешностей не противоречит нормальному распределению;

(4) неисключенные систематические погрешности представлены заданными границами ± Θ и распределены равно мерно;

(5) распределение вероятностей возможных значений измеряемой величины не противоречит нормальному распре делению;

6) для количественного выражения неопределенности результата измерения, представленной в виде границ от клонения значения величины от ее оценки | — Θ; + Θ| (неполное знание о значении величины), принимают, что распределение возможных значений измеряемой величины в указанных границах не противоречит равномерному распределению;

(7) проведение однократных измерений обосновано следующими факторами:

• производственной необходимостью (разрушение образца, невозможность повторения измерения, экономическая це лесообразность и т.д.);

• возможностью пренебрежения случайными погрешностями.

• случайные погрешности существенны, но доверительная граница погрешности результата измерения не превышает допускаемой погрешности измерений;

• стандартная неопределенность, оцениваемая по типу *A,* существенна, но расширенная неопределенность не превышает заданного предела.

Определение доверительных границ погрешности или расширенной неопределенности При определении доверительных границ погрешности или расширенной неопределенности *U* принимают вероятность не ниже 0,95.

♦ **Расширенная неопределенность** — это границы интервала, в пределах которого находится большая часть распределения значений, которые могли бы быть приписаны измеряемой величине. ♦

Правила округления при вычислениях должны соответствовать требованиям МИ 1317. Доверительные границы погрешности (характеристики погрешности) и расширенная неопределенность (расширенная неопределенность для уровня доверия *P)* результата измерения должны быть представлены не более чем двумя значащими цифрами.

Значащей в записи числа считается любая цифра, если ее предельная погрешность не превышает половины разряда, в котором эта цифра записана.

Составляющие погрешности и неопределенности результата измерения К составляющим погрешности результата однократного измерения относят погрешности средства измерений, метода измерений, оператора, а также погрешности, обусловленные изменением условий измерения. Погрешность средства измерений должна быть указана в технической документации на него или определена в соответствии с рассмотренными выше рекомендациями. Погрешности метода и оператора определяются на этапе разработки и аттестации методики выполнения измерений.

В качестве погрешности результата однократного измерения, как правило, представляют

• неисключенную систематическую погрешность, выраженную или границами ±Θ(P= 1), или доверительными (P < 1)

и границами ±Θ(P);

• случайную погрешность, выраженную или средним квадратическим отклонением S, или доверительными границами $\pm\varepsilon(P)$.

Неопределенность результата однократного измерения может быть представлена стандартными неопределенностями U_A **(4.47)** и U_B**{4А%).**

Определение неисключенной систематической погрешности и стандартной неопределенности U_B результата измерения Неисключенную систематическую погрешность результата измерения выражают границами погрешности ±Θ, если среди составляющих погрешности результата измерения в наличии только одна НСП. В этом случае стандартная неопределенность U_B, обусловленная неисключенной систематической погрешностью, оценивается по формуле (4.48).

Значение результата измерения должно оканчиваться цифрами того же разряда, что и значение погрешности или расширенной неопределенности.

Пример. Пример расчета погрешности однократного измерения рассмотрим для измерения напряжения показывающим прибором на участке электрической цепи сопротивлением $R = 4$ Ом.

Априорные данные об исследуемом объекте. Участок электрической цепи представляет собой соединение нескольких резисторов, имеющих стабильное сопротивление. Ток в цепи постоянный. Измерение выполняют в сухом отапливаемом помещении при температуре окружающего воздуха до 30°С и напряженности магнитного поля до 400 А/м. Предполагаемое падение напряжения на участке цепи, не превышающее 1,5 В, постоянно. Для измерения используется вольтметр класса точности 0,5 по ГОСТ 8711 (приведенная погрешность — 0,5%) с верхним пределом диапазона измерений $U_{пр} = 1,5$ В. Вольтметр имеет магнитный экран. Некоторый запас по точности средства измерений необходим из-за возможного наличия дополнительных погрешностей, погрешности метода и т.д. Инструментальная составляющая погрешности определяется основной и дополнительной погрешностями.

Основная погрешность прибора указана в приведенной форме. Тогда предел допускаемой основной погрешности вольтметра составит:

$$\Delta_o = \frac{1,5 \cdot 0,5}{100} = 0,0075 \text{ В}.$$

Дополнительная погрешность из-за влияния магнитного поля не превышает 1,5% нормирующего значения прибора и равна ±0,0225 В (0,015· 1,5).

Дополнительная температурная погрешность, обусловленная отклонением температуры на 10°С от нормальной (20°С), не превышает 60% предела допускаемой основной погрешности, она равна ±0,0045 В (0,0075·0,6).

Оценивание погрешности результата измерения. Погрешность метода определяется соотношением между сопротивлением участка цепи R и сопротивлением вольтметра R_V. «„Сопротивление вольтметра известно: $R_V = 1000$ Ом. Напряжение в цепи после подсоединения вольтметра может быть рассчитано по формуле

$$U = \frac{U_x R}{R + R_V},$$

где U_x — исходное значение напряжения в цепи.

Так как $U < U_x$, то абсолютное значение методической погрешности составит:

$$\Delta_M = \frac{-RU_x}{R + R_V},$$

а относительное —

$$\delta_M = \frac{-100R}{R + R_V} = \frac{-100 \cdot 4}{4 + 1000} \approx -0,4\%.$$

Методическая погрешность является систематической составляющей погрешности измерений и должна быть внесена в результат измерения в виде поправки V = +0,004 В. Тогда результат измерения A с учетом поправки на систематическую погрешность будет равен:

$$\tilde{A} = 0{,}90 + 0{,}004 = 0{,}904 \text{ В}.$$

Так как основная и дополнительные погрешности средства измерений заданы границами, следует рассматривать эти погрешности как не исключенные систематические. Воспользовавшись формулой (4.49), находят доверительную границу неисключенной систематической погрешности результата измерения, которая при доверительной вероятности $P = 0{,}95$ составит:

$$\Delta(P = 0{,}95) = 1{,}1 \cdot \left[0{,}0075^2 + 0{,}0225^2 + 0{,}0045^2\right]^{\frac{1}{2}} = 0{,}02655 \text{ В}.$$

Результат измерения в соответствии с МИ 1317 следует представить в форме:

$$\tilde{A} = 0{,}904 \text{ В}; \ \Delta(P) = \pm 0{,}027 \text{ В}; \ P = 0{,}95,$$

или

$$(0{,}904 \pm 0{,}027) \text{ В}; \ P = 0{,}95.$$

Обработка результатов прямых многократных измерений

Методика получения результатов при проведении многократных прямых измерений установлена ГОСТ 8.207—76 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдения. Основные положения». Перед рассмотрением методики напомним, что ГОСТ 8.207 разработан и утвержден в период действия ныне отмененных ГОСТ 16263 на термины и определения в области метрологии, ГОСТ ов серии «П.», устанавливающих правила математической статистики при определении закона распределения, и отсутствия каких бы то ни было представлений о неопределенности результатов измерений.

Основные операции и их последовательность Методика обработки результатов прямых многократных измерений включает в себя следующие операции:

• определение наличия грубых погрешностей и исключение промахов;

• исключение известных систематических погрешностей из результатов наблюдений;

• вычисление среднего арифметического исправленных результатов наблюдений, принимаемого за результат измерения;

• вычисление оценки среднего квадратического отклонения результата наблюдений;

• вычисление оценки среднего квадратического отклонения результата измерения;

• проверку гипотезы о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению. Проверку гипотезы о том, что результаты наблюдений принадлежат

нормальному распределению, следует проводить с уровнем значимости q от 10 до 2%. Конкретные значения уровней значимости должны быть указаны в конкретной методике выполнения измерений;

• вычисление доверительных границ случайной погрешности (случайной составляющей погрешности) результата измерения;

• вычисление границ неисключенной систематической погрешности (неисключенных остатков систематической по грешности) результата измерения;

• вычисление доверительных границ погрешности результата измерения. Для определения доверительных границ по грешности результата измерения доверительную вероятность *P,* как правило, принимают равной 0,95.

Организационная основа государственной системы, обеспечения единства измерений

Организационная структура Государственной метрологической службы

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

Государственная служба стандартных образцов и стандартизации справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов

Метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц

Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах

Организационная структура Государственной метрологической службы

Практическая деятельность по обеспечению единства измерений в рамках ГСИ осуществляется специально подготовленными, имеющими надлежащую квалификацию и аттестацию специалистами в рамках предприятий (МСЮЛ) и специализированных организаций (ГМС). Соответственно МСЮЛ решает задачи по обеспечению единства измерений на конкретном предприятии (организации), а ГМС — в масштабах всей страны. Поэтому организационную подсистему ГСИ — ее кадровую и структурную базу — составляют:

• на национальном уровне — ГМС, иные государственные службы обеспечения единства измерений и метрологические службы федеральных органов власти;

• на уровне конкретного предприятия — МСЮЛ или физические лица, имеющие достаточную подготовку, аттестованные и аккредитованные на право проведения соответствующих работ органами ГМС.

Традиционно возглавлял ГМС и все работы по обеспечению единства измерений в стране специально созданный межведомственный государственный комитет, известный по сокращенному названию «Госстандарт». В соответствии с Указом Президента РФ № 314 от 9 марта 2004 г. в связи с реорганизацией структуры федеральных органов исполнительной власти Госстандарт РФ был преобразован в Федеральную службу по техническому регулированию и метрологии, а его функции по принятию нормативных правовых актов в установленной сфере деятельности переданы Министерству РФ по промышленности и энергетике (Минпромэнерго). В соответствии с этим Минпромэнерго в настоящее время решает все стратегические вопросы в области технического регулирования и метрологии, включая:

• выработку государственной политики и нормативно-правовое регулирование в сфере технического регулирования и обеспечения единства измерений;

• координацию и контроль деятельности находящегося в его ведении Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование);

• представление Правительству РФ проектов федеральных законов, нормативно-правовых актов Президента РФ и Правительства РФ, а также других документов, по которым требуется решение Правительства РФ, по вопросам обеспечения единства измерений;

• принятие нормативных правовых актов, регламентирующих: правила создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц физических величин; метрологические правила и нормы; порядок разработки и аттестации методик выполнения измерений; перечни групп средств измерений, подлежащих поверке; порядок представления средств измерений на поверку и испытания, а также установления интервалов между поверками; порядок аккредитации на

право выполнения калибровочных работ и выдачу сертификата о калибровке или нанесения калибровочного знака, требования к выполнению калибровочных работ;

• определение порядка проведения государственного метрологического надзора и другие вопросы в установленной сфере деятельности Минпромэнерго и Ростехрегулирования.

Минпромэнерго не вправе осуществлять в закрепленной за ним сфере деятельности функции по контролю и надзору, а также функции по управлению государственным имуществом, если последние не предоставлены специальным указом Президента РФ или постановлением Правительства РФ.

В связи с тем, что обеспечение единства измерений в стране требует оказания огромного количества услуг предприятиям и организациям различных форм собственности, а в задачи федеральных служб оказание услуг не входит, Указом Президента РФ № 649 от 20 мая 2004 г. Федеральная служба по техническому регулированию и метрологии была преобразована в Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии (Ростехрегулирование). Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии действует на основании Положения о Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 17 июня 2004 г. № 294. Основные задачи Ростехрегулирования:

• реализация функций национального органа по стандартизации;

• обеспечение единства измерений;

• осуществление работ по аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров);

• осуществление государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов и обяза тельных требований стандартов;

• создание и ведение федерального информационного фонда технических регламентов и стандартов и единой информационной системы по техническому регулированию;

• осуществление организационно-методического руководства по ведению Федеральной системы каталогизации продукции для федеральных государственных нужд;

• организация проведения работ по учету случаев причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов;

• организационно-методическое обеспечение проведения конкурса на соискание Премии Правительства РФ в области качества и других конкурсов в области качества;

• оказание государственных услуг в сфере, стандартизации, технического регулирования и метрологии.

В связи с тем, что контрольно-надзорные функции, являющиеся прерогативой федеральных служб, в данном случае оказались организационно не установлены, постановлением Правительства РФ до внесения изменений в соответствующие законодательные акты РФ Ростехрегулированию предоставлены полномочия, связанные:

- с лицензированием деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений, а также государственным метрологическим контролем и надзором;
- с контролем и надзором за соблюдением обязательных требований государственных стандартов и технических регламентов.

Ростехрегулирование осуществляет свою деятельность непосредственно, через свои территориальные органы и через подведомственные организации, совокупность которых образует Государственную метрологическую службу.

Территориальными органами ГМС являются межрегиональные территориальные управления (МТУ), осуществляющие кон-трольно-надзорные функции на закрепленной за ними территории. В соответствии с существующими федеральными округами создано семь МТУ: Центральное (г. Москва), Северо-Западное (г. Санкт-Петербург), Южное (г. Ростов-на-Дону), Приволжское (г. Нижний Новгород), Уральское (г. Екатеринбург), Сибирское (г. Новосибирск) и Дальневосточное (г. Хабаровск).

Основными задачами МТУ Ростехрегулирования являются:

- организация и осуществление государственного контроля и надзора в области обеспечения единства измерений;
- организация и осуществление государственного контроля [1] и надзора за соблюдением требований технических регламентов в области технического регулирования, отнесенных законодательством Российской Федерации к компетенции Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии;
- организация и осуществление государственного контроля (надзора), до вступления в силу соответствующих технических регламентов, за соблюдением обязательных требований государственных стандартов в части, соответствующей целям защиты жизни и здоровья граждан, имущества физических и юридических лиц, государственного и муниципального имущества, охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений, а также предупреждения действий, вводящих в заблуждение потребителей;
- сбор и обработка информации о случаях причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов

В соответствии с основными задачами МТУ Ростехрегулирования выполняют следующие функции:

• осуществляют государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;

• осуществляют государственный метрологический надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;

• осуществляют государственный метрологический надзор за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида

• при их расфасовке и продаже;

• выполняют функции государственной метрологической службы на территории соответствующего федерального округа в части осуществления государственного метрологического надзора;

• осуществляют контроль за соблюдением соискателями лицензий и лицензиатами лицензионных требований и усло вий, определенных Положением о лицензировании деятельности по изготовлению и ремонту средств измерений;

• осуществляют в пределах компетенции государственный контроль (надзор) за соблюдением требований технических регламентов;

• осуществляют, до вступления в силу соответствующих технических регламентов, государственный контроль (надзор) за соблюдением юридическими лицами и индивидуальными предпринимателями обязательных требований государственных стандартов в части, соответствующей целям защиты жизни или здоровья граждан, имущества физических или юридических лиц, государственного или муниципального имущества, охраны окружающей среды, жизни или здоровья животных и растений, предупреждения действий, вводящих в заблуждение приобретателей;

• осуществляют в соответствии с законодательством Российской Федерации производство по делам об административных правонарушениях;

• применяют предусмотренные законодательством Российской Федерации меры воздействия к юридическим лицам и индивидуальным предпринимателям за нарушение установленных требований;

• осуществляют сбор и обработку информации о случаях причинения вреда вследствие нарушения требований технических регламентов, а также информируют приобретателей, изготовителей и продавцов по вопросам государственного контроля (надзора) за соблюдением требований технических регламентов;

• рассматривают жалобы и обращения юридических лиц и граждан и принимают решения по вопросам, входящим в их компетенцию;

• информируют заинтересованных лиц по вопросам, связанным с осуществлением государственного контроля и надзора в области обеспечения единства измерений и технического регулирования;

• осуществляют иные функции, предусмотренные законодательством Российской Федерации и относящиеся к их компетенции

К подведомственным Ростехрегулированию организациям **ГМС** относятся:

(1) *консультационно-внедренческая фирма «Интерстандарт»* (г. Москва). Основные направления деятельности фирмы — услуги по обеспечению юридических и физических лиц нормативной документацией по стандартизации и сертификации на английском и русском языках;

(2) *некоммерческое учреждение «Технический центр регистра систем качества»;*

(3) *образовательная автономная некоммерческая организация «Регистр системы сертификации персонала»;*

(4) *федеральные государственные унитарные предприятия (ФГУП)*

5) *Федеральные государственные учреждения (ФГУ):*

• ЦСМ (Центры стандартизации и метрологии). Специализация — функции Ростехрегулирования (кроме надзорных) на закрепленной территории (республика в составе РФ, край, область), включая:

— поверку средств измерений при выпуске их из производства и ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации;

— испытания средств измерений и игровых автоматов с целью утверждения типа;

— контроль за соответствием выпускаемых и применяемых средств измерений и игровых автоматов утвержденным типам;

— участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений;

— сбор информации о количестве средств измерений, поверенных аккредитованными метрологическими службами юридических лиц на закрепленной территории;

— аттестацию поверителей, работающих в аккредитованных на право поверки метрологических службах юридических лиц;

— участие в аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ, аттестации методик выполнения измерений и проведения метрологической экспертизы документов;

— оценку состояния измерений в испытательных и измерительных лабораториях на предприятиях закрепленной территории;

— сертификацию и калибровку средств измерений, разработку и аттестацию методик измерений, метрологическую экспертизу нормативных документов;

— первичную аттестацию испытательного оборудования;

— анализ результатов работ по обеспечению единства измерений на закрепленной территории;

— изготовление эталонов и стандартных образцов;

— методическую помощь органам по сертификации и испытательным лабораториям, осуществляющим свою деятельность в Системе сертификации ГОСТ Р;
— участие в аккредитации органов по сертификации и испытательных лабораторий и в их инспекционном контроле;
— исследования (испытания) и экспертную оценку продукции (товаров, работ, услуг);
— организацию и проведение межлабораторных сравнительных испытаний продукции (товаров);
— формирование и ведение фонда нормативных документов по стандартизации, обеспечению единства измерений, оценке соответствия, аккредитации;
— учетную регистрацию каталожных листов на товарную продукцию;
— распространение периодических изданий Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии;
— предоставление в установленном порядке информации полномочному представителю Президента РФ в соответствующем федеральном округе, Федеральному агентству по техническому регулированию и метрологии, соответствующему межрегиональному территориальному управлению Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, органам законодательной и исполнительной власти соответствующей территории;
— другие работы в соответствии с Уставом;

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

ГСВЧ представляет собой деятельность федеральных органов исполнительной власти и организаций по обеспечению потребностей страны в информации о времени, эталонных частотах и параметрах вращения Земли, в совокупности составляющую систему Государственной службы времени* частоты и определения параметров вращения Земли (далее — Государственная служба времени), осуществляемую в соответствии с законодательством Российской Федерации.

ГСВЧ проводит научно-технические и метрологические работы по непрерывному воспроизведению и хранению национальной шкалы времени Российской Федерации и эталонных частот, определению параметров вращения Земли, обеспечению потребностей страны в эталонных сигналах времени и частоты, а также по обеспечению единства измерений времени, частоты и параметров вращения Земли в Российской Федерации.

Определение времени, эталонных частот и параметров вращения Земли осуществляется научно-исследовательскими организациями Ростехрегулирования, воинскими частями, организациями и учреждениями Министерства обороны РФ, МЧС РФ, другими министерствами, федеральными службами и агентствами в соответствии с их полномочиями с использованием технических средств и систем.

Государственная служба стандартных образцов и стандартизации справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов

Государственная служба стандартных образцов (ГССО) обеспечивает единство и необходимую точность измерений путем создания и выпуска в обращение стандартных образцов, которые в большинстве случаев представляют собой некоторое количество однородного по составу материала: чистых веществ, сплавов, нефтепродуктов, медицинских препаратов, образцов почв, образцов газов и их смесей и т.д.

Процедура создания и аттестации стандартных образцов, как правило, строится следующим образом: изготовление образца — исследование — определение состава — определение условий хранения — определение условий применения — выдача паспорта. Принципиально не имеет значения «место рождения образца», а вот исследования его свойств производятся в различных исследовательских центрах Ростехрегулирования.

Метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц

Кроме перечисленных служб организационную подсистему ГСИ составляют также метрологические службы федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц (МСЮЛ). В случае если обязанности по обеспечению единства измерений возложены на физическое лицо, то оно также входит в организационную подсистему и на него распространяются соответствующие обязанности. Функции, структура, права и обязанности метрологических служб и физических лиц устанавливаются на основе действующего законодательства в положениях об этих службах.

Международные метрологические организации и обеспечение единства измерений в зарубежных странах

Крупнейшей и старейшей международной метрологической организацией является созданная в 1875 г. *Международная организация мер и весов (МОМВ)*. МОМВ была создана в соответствии с принятием Метрической конвенции, которая имела целью всемирное внедрение и совершенствование унифицированной системы единиц на основе метра и килограмма. В настоящее время главная задача МОМВ — обеспечение единства измерений на основе применения Международной системы единиц. Структуру МОМВ образуют Генеральная конференция по мерам и весам (ГКМВ), Международный комитет по мерам и весам (МКМВ) и Международное бюро мер и весов (МБМВ).

Генеральная конференция по мерам и весам является высшим в мире органом по вопросам установления единиц величин и их определений, методов воспроизведения и эталонов. ГКМВ созывается не реже одного раза в 4 года с целью утверждения программ научно-практической деятельности МБМВ и выборов МКМВ. Место проведения генеральных конференций — Париж. *Международный комитет по мерам и весам* руководит работой МОМ В в промежутках между созывами генеральных конференций. В состав МКМВ избираются 18 членов из числа крупнейших ученых-метрологов. В свое время в состав МКМВ избирался Д.И. Менделеев. Основные задачи МКМВ — реализация решений ГКМВ, проведение текущих исследований в области метрологии и подготовка материалов и решений предстоящей генеральной конференции. Для этих целей в составе МКМВ действуют 10 консультативных комитетов:

- по системам единиц;
- по определению метра;
- по определению секунды;
- по определению массы и сопутствующих **величин;**
- по термометрии;
- по электричеству и магнетизму;
- по фотометрии и радиометрии;
- по ионизирующим излучениям;
- по количеству вещества и акустике (с ультразвуком и вибрацией).

В настоящее время к Конвенции присоединились более 100 государств. Цель МОЗМ — унификация национальных метрологических правил и тем самым содействие глобализации экономики за счет устранения технических барьеров при реализации внешнеторговых, промышленных и научно-технических связей. МОЗМ имеет статус наблюдателя при Комитете по техническим барьерам в торговле Всемирной торговой организации. Основное направление в деятельности МОЗМ — обеспечение взаимного доверияm результатам измерений при контроле характеристик сырья, полуфабрикатов и готовых изделий путем установления единых требований законодательной метрологии к метрологическим характеристикам средств измерений, методикам выполнения измерений, единицам величин, показателям точности и т.д.; методам контроля и надзора за состоянием измерений; организации метрологических работ и т.д.

Высшим органом МОЗМ является *Международная конференция законодательной метрологии,* созываемая один раз в 4 года. В работе конференции могут принимать участие не только представители стран — участниц Конвенции, но также представители неприсоединившихся стран и международных организаций, связанных с решением метрологических задач. Решения МОЗМ не являются обязательными, а носят характер рекомендаций.

Между конференциями руководство МОЗМ осуществляет ее исполнительный орган — *Международный комитет законодательной метрологии* (МКЗМ). При комитете работает консультативный орган — *Совет президента МКЗМ,* в состав которого входят два вице-президента, директор Международного бюро законодательной метрологии (МБЗМ) и пять членов МКЗМ. Задача МБЗМ — организация информационного обеспечения. В России хранителем фонда документов МОЗМ является ВНИИМС, исполняющий функции национального Секретариата МОЗМ.

Из других международных организаций метрологии можно отметить *Международную конференцию по измерительной технике и приборостроению (ИМЕКО)* — неправительственную организацию, объединяющую научные и инженерные общества, занимающиеся вопросами измерений, более чем из 30 стран мира. Цель ИМЕКО — содействие международному сотрудничеству и обмену научной и технической информацией. Высший орган ИМЕКО — Генеральный совет, исполнительный орган — Секретариат (г. Будапешт). ИМЕКО проводит работы в 17 технических комитетах по отдельным направлениям метрологии.

Техническая подсистема ГСИ Техническую подсистему ГСИ составляют:

• совокупность межгосударственных, государственных эталонов и эталонов единиц величин и шкал измерений;

• совокупность военных эталонов — резерва государственных эталонов;

• совокупность стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;

• совокупность стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов;

• средства измерений и испытательное оборудование, необходимое для осуществления метрологического контроля и надзора;

• совокупность специальных зданий и сооружений для проведения высокоточных измерений в метрологических целях;

• совокупность научно-исследовательских, эталонных, испытательных, поверочных, калибровочных и измерительных лабораторий (в том числе передвижных) и их оборудования.

Организационная подсистема ГСИ Организационную подсистему ГСИ составляют:

• Государственная метрологическая служба (ГМС);

• иные государственные службы обеспечения единства измерений (ОЕИ);

• метрологические службы (МС) федеральных органов исполнительной власти (в том числе Метрологическая служба Вооруженных Сил Российской Федерации, осуществляющая деятельность по ОЕИ в сфере обороны и безопасности) и юридических лиц (МСЮЛ).

В настоящее время в Государственную метрологическую службу входят:

• департамент технического регулирования и метрологии Министерства промышленности и энергетики РФ (Мин-промэнерго РФ);

• подразделения центрального аппарата Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии РФ (Ростехрегулирование РФ);

• государственные научные метрологические центры (ГНМЦ);
• территориальные органы ГМС, действующие на соответствующих территориях (республики, входящие в РФ; автономные области; автономные округа; края; области; округа и города).

К иным государственным службам ОЕИ относятся:
• Государственная служба времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ);
• Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО);
• Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

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