**3. Основы метрологии**

Метрология - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

В практической жизни человек всюду имеет дело с измерениями. На каждом шагу встречаются и известны с незапамятных времен измерения таких величин, как длина, объем, вес, время и др.

Велико значение измерений в современном обществе. Они служат не только основой научно-технических знаний, но имеют первостепенное значение для учета материальных ресурсов и планирования, для внутренней и внешней торговли, для обеспечения качества продукции, взаимозаменяемости узлов и деталей и совершенствования технологии, для обеспечения безопасности труда и других видов человеческой деятельности.

Метрология имеет большое значение для прогресса естественных и технических наук, так как повышение точности измерений - одно из средств совершенствования путей познания природы человеком, открытий и практического применения точных знаний.

Для обеспечения научно-технического прогресса метрология должна опережать в своем развитии другие области науки и техники, ибо для каждой из них точные измерения являются одним из основных путей их совершенствования.

Основными задачами метрологии (по ГОСТу 16263-70) являются:

установление единиц физических величин, государственных эталонов и образцовых средств измерений;

разработка теории, методов и средств измерений и контроля;

обеспечение единства измерений и единообразных средств измерений;

разработка методов оценки погрешностей, состояния средств измерения и контроля;

разработка методов передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

**3.1. Краткая история развития метрологии**

Потребность в измерениях возникла в незапамятные времена. Для этого в первую очередь использовались подручные средства. Например, единица веса драгоценных камней - карат, что в переводе с языков древнего юга-востока означает “семя боба”, “горошина”; единица аптекарского веса – гран, что в переводе с латинского, французского, английского, испанского означает “зерно”. Многие меры имели антропометрическое происхождение или были связаны с конкретной трудовой деятельностью человека. Так, в Киевской Руси применялись в обиходе вершок - длина фаланги указательного пальца; пядь - расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев; локоть - расстояние от локтя до конца среднего пальца; сажень - от “сягать”, “достигать”, т. е. можно достать; косая сажень - предел того, что можно достать: расстояние от подошвы левой ноги до конца среднего пальца вытянутой вверх правой руки; верста - от “верти”, “поворачивая” плуг обратно, длина борозды.

Древние вавилоняне установили год, месяц, час. Впоследствии 1/86400 часть среднего периода обращения Земли вокруг своей оси получила название секунды.

В Вавилоне во II в. до н. э. время измерялось в минах. Мина равнялась промежутку времени (равному, примерно, двум астрономическим часам), за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала “мина” воды, масса которой составляла около 500 г. Затем мина сократилась и превратилась в привычную для нас минуту. Со временем водяные часы уступили место песочным, а затем более сложным маятниковым механизмам.

Важнейшим метрологическим документом в России является Двинская грамота Ивана Грозного (1550 г.). В ней регламентированы правила хранения и передачи размера новой меры сыпучих веществ - осьмины. Ее медные экземпляры рассылались по городам на хранение выборным людям - старостам, соцким, целовальникам. С этих мер надлежало сделать клейменые деревянные копии для городских померщиков, а с тех, в свою очередь, - деревянные копии для использования в обиходе.

Метрологической реформой Петра I к обращению в России были допущены английские меры, получившие особенно широкое распространение на флоте и в кораблестроении - футы, дюймы. В 1736 г. по решению Сената была образована Комиссия весов и мер под председательством главного директора Монетного двора графа М.Г. Головкина. В состав комиссии входил Л. Эйлер. В качестве исходных мер комиссия изготовила медный аршин и деревянную сажень, за меру веществ было принято ведро московского Каменномостского питейного двора. Важнейшим шагом, подытожившим работу комисии, было создание русского эталонного фунта.

Идея построения системы измерений на десятичной основе принадлежит французскому астроному Г. Мутону, жившему в XVII в. Позже было предложено принять в качестве единицы длины одну сорокамиллионную часть земного меридиана. На основе единственной единицы - метра - строилась вся система, получившая название метрической.

В России указом “О системе Российских мер и весов” (1835 г.) были утверждены эталоны длины и массы – платиновая сажень и платиновый фунт.

В соответствии с международной Метрологической конвенцией, подписанной в 1875 г., Россия получила платиноиридиевые эталоны единицы массы № 12 и 26 и эталоны единицы длины № 11 и 28, которые были доставлены в новое здание Депо образцовых мер и весов. В 1892 г. управляющим Депо был назначен Д.И. Менделеев, которую он в 1893 г. преобразует в Главную палату мер и весов - одно из первых в мире научно-исследовательских учреждений метрологического профиля.

Метрическая система в России была введена в 1918 г. декретом Совета Народных Комиссаров “О введении Международной метрической системы мер и выесов”. Дальнейшее развитие метрологии в России связано с созданием системы и органов служб стандартизации. Этот вопрос подробно рассмотрен в п. 1.2.

Развитие естественных наук привело к появлению все новых и новых средств измерений, а они, в свою очередь, стимулировали развитие наук, становясь все более мощным средством исследования.

**3.2. Правовые основы метрологической деятельности в Российской Федерации**

**3.2.1. Законодательная база метрологии**

Основными правовыми актами по метрологии в России являются:

1. Закон РФ “Об обеспечениии единства измерений” от 27.04.93, № 4871-1 в редакции 2003 г.;

2. РМГ 29 – 99. Метрология. Термины и определения.

3. МИ\* 2247-93 ГСИ. Метрология. Основные термины и определения.

4. ГОСТ 8.417-81 ГСИ. Единицы физических величин.

5. ПР 50.2.006-94 ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.

6. ПР 50.2.009-94 ГСИ. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерения.

7. ПР 50.2.014-94 ГСИ. Аккредитация метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений.

8. МИ 2277-94 ГСИ. Система сертификации средств измерений. Основные положения и порядок проведения работ.

9. ПР 50.2.002-94 ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм.

10. ПР 50.2.004-94 ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

11. ПР 50.2.017-95 ГСИ. Положение о российской системе калибровки.

12. Постановление Госстандарта России от 8 февраля 1994 г. N 8 “Порядок лицензирования деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений” (Зарегистрировано в Минюсте РФ 9 декабря 1994 г. N 741)

13. Постановление Госстандарта России от 08.02.94 N 8 “Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций” (зарегистрировано в Минюсте РФ 9 декабря 1994 г. N 740).

14. Постановление Госстандарта РФ от 28 декабря 1995 г. N 95 “Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ” (зарегистрировано в Минюсте РФ 27 февраля 1996 г. N 1037).

15. Постановление Госстандарта РФ от 8 феврвля 1994 г. №8 "Требования к государственным центрам испытаний средств измерений и порядок их аккредитации” (зарегистрировано в Минюсте РФ 13 июля 1994 г. N 635).

16. ИСО 10012-1:1992. "Требования, гарантирующие качество измерительного оборудования. - Часть 1: Система подтверждения метрологической пригодности измерительного оборудования".

Закон “Об обеспечении единства измерений” осуществляет регулирование отношений, связанных с обеспечением единства измерений в Российской Федерации, в соответствии с Конституцией РФ.

Основные статьи Закона устанавливают:

основные понятия, применяемые в Законе;

организационную структуру государственного управления обеспечением единства измерений;

нормативные документы по обеспечению единства измерений;

единицы величин и государственные эталоны единиц величин;

средства и методики измерений.

Закон определяет Государственную метрологическую службу и другие службы обеспечения единства измерений, метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц, а также виды и сферы распределения государственного метрологического контроля и надзора.

Отдельные статьи Закона содержат положения по калибровке и сертификации средств измерений и устанавливают виды ответственности за нарушение Закона.

Становление рыночных отношений наложило отпечаток на статью Закона, которая определяет основы деятельности метрологических служб государственных органов управления и юридических лиц. Вопросы деятельности структурных подразделений метрологических служб на предприятиях выведены за рамки законодательной метрологии, а их деятельность стимулируется чисто экономическими методами.

В тех сферах, которые не контролируются государственными органами, создается Российская система калибровки, также направленная на обеспечение единства измерений.

Положение о лицензировании метрологической деятельности направлено на защиту прав потребителей и охватывает сферы, подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору. Право выдачи лицензии предоставлено исключительно органам Государственной метрологической службы.

В области государственного метрологического надзора введены новые виды надзора:

за количеством товаров, отчуждаемых при торговых операциях;

за количеством товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже;

за банковскими, почтовыми, налоговыми и таможенными операциями;

за обязательностью сертификации продукции и услуг.

Закон создает условия для взаимодействия с международной и национальными системами измерений зарубежных стран. Это прежде всего необходимо для взаимного признания результатов испытаний, калибровки и сертификации, а также для использования мирового опыта и тенденций в современной метрологии.

**3.2.2. Юридическая ответственность за нарушение нормативных требований по метрологии**

Статья 25 Закона “Об обеспечении единства измерений” предусмат-ривает возможность привлечения юридических и физических лиц, а также государственных органов управления РФ, виновных в нарушении положе-ний этого Закона к административной, гражданской-правовой или уголов-ной ответственности в соответствии с действующим законодательством.

Кодексом об административных нарушениях и, в частности, статьей 170 “Нарушение обязательных требований государственных стандартов, правил обязательной сертификации, нарушение требований нормативных документов по обеспечению единства измерений” предусмотрено наложение штрафа от пяти до ста минимальных размеров оплаты труда.

Гражданско-правовая ответственность наступает в ситуациях, когда в результате нарушений метрологических правил и норм юридическим или физическим лицам причинен имущественный или личный ущерб. Причиненный ущерб подлежит возмещению по иску потерпевшего на основании соответствующих актов гражданского законодательства.

К уголовной ответственности нарушители метрологических требований привлекаются в тех случаях, когда имеются признаки состава преступления, предусмотренные Уголовным кодексом.

Дисциплинарная ответственность за нарушение метрологических правил и норм определяется решением администрации (организации) на основании Кодекса законов о труде.

# **3.3. Объекты и методы измерений, виды контроля**

**3.3.1. Измеряемые величины**

Измерения являются инструментом познания объектов и явлений окружающего мира. Поэтому метрология относится к науке, занимающейся теорией познания – гноссиологии.

Объектами измерений являются физические и нефизические величины (в экономике, медицине, информатике, управлении качеством и пр.).

Вся современная физика может быть построена на семи основных величинах, которые характеризуют фундаментальные свойства материального мира. К ним относятся: длина, масса, время, сила электрического тока, термодинамическая температура, количество вещества и сила света. С помощью этих и двух дополнительных величин – плоского и телесного углов – введенных исключительно для удобства, образуется все многообразие производных физических величин и обеспечивается описание любых свойств физических объектов и явлений.

Измерения физических величин подразделяются на следующие области и виды:

1. Измерения геометрических величин: длин; отклонений формы поверхностей; параметров сложных поверхностей; углов.

2. Измерения механических величин: массы; силы; крутящих моментов, напряжений и деформаций; параметров движения; твердости.

3. Измерения параметров потока, расхода, уровня, объема веществ: массового и объемного расхода жидкостей в трубопроводах; расхода газов; вместимости; параметров открытых потоков; уровня жидкости.

4. Измерения давлений, вакуумные измерения: избыточного давления; абсолютного давления; переменного давления; вакуума.

5. Физико-химические измерения: вязкости; плотности; содержаний (концентрации) компонентов в твердых, жидких и газообразных веществах; влажности газов, твердых веществ; электрохимические измерения.

6. Теплофизические и температурные измерения: температуры; теплофизических величин.

7. Измерения времени и частоты: методы и средства воспроизведения и хранения единиц и шкал времени и частоты; измерения интервалов времени; измерения частоты периодических процессов; методы и средства передачи размеров единиц времени и частоты.

8. Измерения электрических и магнитных величин на постоянном и переменном токе: силы тока, количества электричества, электродвижущей силы, напряжения, мощности и энергии, угла сдвига фаз; электрического сопротивления, проводимости, емкости, индуктивности и добротности электрических цепей; параметров магнитных полей; магнитных характеристик материалов.

9. Радиоэлектронные измерения: интенсивности сигналов; параметров формы и спектра сигналов; параметров трактов с сосредоточенными и распределенными постоянными; свойств веществ и материалов радиотех-ническими методами; антенные.

10. Измерения акустических величин: акустические - в воздушной среде и в газах; акустические - в водной среде; акустические - в твердых телах; аудиометрия и измерения уровня шума.

11. Оптические и оптико-физические измерения: световые, измерения оптических свойств материалов в видимой области спектра; энергетических параметров некогерентного оптического излучения; энергетических параметров пространственного распределения энергии и мощности непрерывного и импульсного лазерного и квазимонохроматического излучения; спектральных, частотных характерстик, поляризации лазерного излучения; параметров оптических элементов, оптических характеристик материалов; характеристик фотоматериалов и оптической плотности.

12. Измерения ионизирующих излучений и ядерных констант: дозиметрических характеристик ионизирующих излучений; спектральных характеристик ионизирующих излучений; активности радионуклидов; радиометрических характеристик ионизирующих излучений.

В квалиметрии (разделе метрологии), посвященной измерению качества, не принято деление показателей качества на основные и производные. Здесь выделяются единичные и комплексные показатели качества. При этом единичные относятся к одному из свойств продукции, а комплексные характеризуют сразу несколько из свойств.

Размерность измеряемой величины является качественной ее характеристикой и обозначается символом dim, происходящим от слова dimension. Размерность основных физических величин обозначается соответствующими заглавными буквами. Например, для длины, массы и времени dim l = L; dim m = M; dim t = T.

При определении размерности производных величин руководствуются следующими правилами [47]:

1. Размерности левой и правой частей уравнений не могут не совпадать, так как сравниваться между собой могут только одинаковые свойства. Объединяя левые и правые части уравнений, можно прийти к выводу, что алгебраически суммироваться могут только величины, имеющие одинаковые размерности.

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

2.1. Размерность произведения нескольких величин равна произведе­нию их размерностей. Так, если зависимость между значениями величин Q, А, В, С имеет вид Q = А ⋅ В ⋅ С, то

dim Q = dim A ⋅ dim B ⋅ dim C.

2.2. Размерность частного при делении одной величины на другую равна отношению их размерностей, т. е. если Q = А/В, то

dim Q = dim A/dim B.

2.3. Размерность любой величины, возведенной в некоторую степень, равна ее размерности в той же степени. Так, если Q = Аn, то

dim Q = .



Например, если скорость определять по формуле V = l / t, то dim V = dim l/dim t = L/Т = LТ-1. Если сила по второму закону Ньютона F = m⋅а, где а = V/ t - ускорение тела, то dim F = dim m ⋅ dim а = МL/Т2 = MТ-2.

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

dim Q = LαMβTγ …,

где L, М, Т, . . . - размерности соответствующих основных физических величин; α, β, γ, … - показатели размерности. Каждый из показателей размерности может быть положительным или отрицательным, целым или дробным числом, нулем. Если все показатели размерности равны нулю, то такая величина называется безразмерной. Она может быть относительной, определяемой как отношение одноименных величин (например, относительная диэлектрическая проницаемость), и логарифмической, определяемой как логарифм относительной величины (например, логарифм отношения мощностей или напряжений). В гуманитарных науках, искусстве, спорте, квалиметрии, где номеклатура основных величин не определена, теория размерностей не находит пока эффективного применения.

Размер измеряемой величины является количественной ее характеристикой. Получение информации о размере физической или нефи-зической величины является содержанием любого измерения.

В теории измерений принято, в основном, различать пять типов шкал: наименований, порядка, разностей (интервалов), отношений и абсолютные.

Шкалы наименований характеризуются только отношением эквивалентности (равенства). Примером такой шкалы является распространённая классификация (оценка) цвета по наименованиям (атласы цветов до 1000 наименований).

Шкалы порядка - это расположенные в порядке возрастания или убывания размеры измеряемой величины. Расстановка размеров в порядке их возрастания или убывания с целью получения измерительной информации по шкале порядка называется ранжированием. Для облегчения измерений по шкале порядка некоторые точки на ней можно зафиксировать в качестве опорных (реперных). Недостатком реперных шкал является неопределённость интервалов между реперными точками. Поэтому баллы нельзя складывать, вычислять, перемножать, делить и т.п. Примерами таких шкал являются: знания студентов по баллам, землетрясения по 12 балльной системе, сила ветра по шкале Бофорта, чувствительность плёнок, твёрдость по шкале Мооса и т.д.

Шкалы разностей (интервалов) отличаются от шкал порядка тем, что по шкале интервалов можно уже судить не только о том, что размер больше другого, но и на сколько больше. По шкале инрервалов возможны такие математические действия, как сложение и вычитание. Характерным примером является шкала интервалов времени, поскольку интервалы времени можно суммировать или вычитать, но складывать, например, даты каких-либо событий не имеет смысла.

Шкалы отношений описывают свойства, к множеству самих коли-чественных проявлений которых применимы отношения эквивалентности, порядка и суммирования, а следовательно, вычитания и умножения. В шкале отношений существует нулевое значение показателя свойства. Примером является шкала длин. Любое измерение по шкале отношений заключается в сравнении неизвестного размера с известным и выражении первого через второй в кратном или дольном отношении.

Абсолютные шкалы обладают всеми признаками шкал отношений, но в них дополнительно существует естественное однозначное определение единицы измерения. Такие шкалы соответствуют относительным величинам (отношения одноимённых физических величин, описываемах шкалами отношений). К таким величинам относятся коэффициент усиления, ослабления и т. п. Среди этих шкал существуют шкалы, значения которых находятся в пределах от 0 до 1 (коэффициент полезного действия, отражения и т.п.).

# Измерение (сравнение неизвестного с известным) происходит под влиянием множества случайных и неслучайных, аддитивных (прибавляемых) и мультипликативных (умножаемых) факторов, точный учёт которых невозможен, а результат совместного воздействия непредсказуем.

# Основной постулат метрологии - отсчёт - является случайным числом.

# Математическая модель измерения по шкале сравнения имеет вид

, (3.1)



где q- результат измерения (числовое значение величины Q); Q - значение измеряемой величины; [Q] – единица данной физической величины; V - масса тары (например, при взвешивании); U - слагаемая от аддитивного воздействия

Q = q⋅[Q] - U⋅[Q] - V. (3.2)

# При однократном измерении

Qi = qi⋅[Q] + θi, (3.3)

где qi⋅[Q] - результат измерения (однократного);

θi = - U⋅[Q] – V - суммарная поправка.

# Значение измеряемой величины при многократном измерении

. (3.4)



**3.3.2. Международная система единиц физических величин**

Когерентная, или согласованная Международная система единиц физических величин (SI) принята в 1960 г. XI Генеральной конференцией по мерам и весам. По этой системе предусмотрено семь основных единиц (метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, кандела и моль) и две дополнительные (для плоского угла радиан и для телесного угла - стерадиан). Все остальные физические величины могут быть получены как производ-ные основных. Основные и дополнительные единицы системы SI приведены в табл 3.1.

В качестве эталона единицы длины утверждён метр, который равен длине пути, проходимого светом в вакууме за 1/299.792.458 долю секунды.

## Таблица 3.1

Основные и дополнительные единицы системы SI

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Величина | | Единица | | |
| Наименование | Размерность | Наименование | Обозначение | |
| Международное | Русское |
| Основные | | | | |
| Длина | L | Метр | m | м |
| Масса | M | Килограмм | kg | кг |
| Время | T | Секунда | s | с |
| Сила электрического тока | I | Ампер | A | А |
| Термодинамическая температура | θ | Кельвин | K | К |
| Количество вещества | N | Моль | mol | моль |
| Сила света | J | Кандела | cd | кд |
| Дополнительные | | | | |
| Плоский угол |  | Радиан | rad | рад |
| Телесный угол |  | Стерадиан | cr | ср |

Эталон единицы массы - килограмм - представляет собой цилиндр из сплава платины (90%) и иридия (10%), у которого диаметр и высота примерно одинаковы (около 30 мм).

За единицу времени принята секунда, равная 9.192.631.770 периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Эталоном единицы силы тока принят ампер - сила неизменяю-щегося во времени электрического тока, который, протекая в вакууме по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади круглого поперечного сечения, расположенным один от другого на расстоянии 1 м, создаёт на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия 2⋅10-7 Н.

Единицей термодинамической температуры является кельвин, составляющий 1/273,16 часть термодинамической температуры тройной точки воды.

За эталон количества вещества принят моль - количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов частиц, сколько атомов содержится в 12 г углерода-12 (1 моль углерода имеет массу 2 г, 1 моль кислорода - 32 г, а 1 моль воды - 18 г).

Эталон единицы света – кандела - представляет собой силу света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой 540⋅1012 Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет 1/683 Вт/ср.

Радиан равен углу между двумя радиусами окружности, дуга между которыми по длине равна радиусу.

Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, по длине равной радиусу сферы.

**3.3.3. Методы измерений**

Измерение - получение информации о размере физической или нефизической величины.

При измерениях приходится иметь дело с различными физическими величинами: дискретными и непрерывными, случайными и неслучайными, постоянными и переменными, зависимыми и независимыми.

Метод измерения (по ГОСТу 16263-70) - это совокупность приёмов использования принципов и средств измерений, при которых происходит процесс измерения.

1) По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения методы измерений подразделяются на:

статические, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени;

динамические, в процессе которых измеряемая величина изменяется и является непостоянной во времени.

Статическими измерениями являются, например, измерения размеров тела, постоянного давления; динамическими - измерения пульсирующих давлений, вибраций.

2) По способу получения результатов измерений (виду уравнения измерений) методы измерений разделяют на прямые, косвенные, совокупные и совместные.

При прямом измерении искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных, например, измерение угла угломером или измерение диаметра штангенциркулем.

При косвенном измерении искомое значение величины определяют на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям, например, определение среднего диаметра резьбы с помощью трёх проволочек или угла с помощью синусной линейки.

Совместными называют измерения, производимые одновременно (прямые или косвенные) двух или нескольких неодноимённых величин. Целью совместных измерений является нахождение функциональной зависимости между величинами, например, зависимости длины тела от температуры, зависимости электрического сопротивления проводника от давления и т.п.

Совокупные - это такие измерения, в которых значения измеряемых величин находят по данным повторных измерений одной или нескольких одноименных величин при различных сочетаниях мер или этих величин. Результаты совокупных измерений находят путём решения системы уравнений, составляемых по результатам нескольких прямых измерений. Например, совокупными являются измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

3) По условиям, определяющим точность результата измерения, методы делятся на три класса.

Измерения максимально возможной точности, достижимой при существующем уровне техники. К ним относятся в первую очередь эталонные измерения, связанные с максимально возможной точностью воспроизведения установленных единиц физических величин, и, кроме того, измерения физических констант, прежде всего универсальных (например, абсолютного значения ускорения свободного падения и др.).

К этому же классу относятся и некоторые специальные измерения, требующие высокой точности.

Контрольно-поверочные измерения, погрешность которых с определенной вероятностью не должна превышать некоторое заданное значение. К ним относятся измерения, выполняемые лабораториями государствен-ного надзора за внедрением и соблюдением стандартов и состоянием измерительной техники и заводскими измерительными лабораториями с погрешностью заранее заданного значения.

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

4) По способу получения значений измеряемых величин различают два основных метода измерений: метод непосредственной оценки и метод сравнения с мерой.

Метод непосредственной оценки - метод измерения, при котором значение величины определяют непосредственно по отсчётному устройству измерительного прибора прямого действия (например, измерение длины с помощью линейки или размеров деталей микрометром, угломером и т.д.).

Метод сравнения с мерой - метод измерения, при котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, для измерения диаметра калибра микрокатор устанавливают на нуль по блоку концевых мер длины, а результаты измерения получают по отклонению стрелки микрокатора от нуля, т.е. сравнивается измеряемая величина с размером блока концевых мер. О точности размера судят по отклонению стрелки микрокатора относительно нулевого положения.

Существуют несколько разновидностей метода сравнения:

метод противопоставления, при котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействуют на прибор сравнения;

дифференциальный метод, при котором измеряемую величину сравнивают с известной величиной, воспроизводимой мерой. Этим методом, например, определяют отклонение контролируемого диаметра детали на оптиметре после его настройки на нуль по блоку концевых мер длины;

нулевой метод, при котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля. Подобным методом измеряют электрическое сопротивление по схеме моста с полным его уравновешиванием;

метод совпадений, при котором разность между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, определяют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов (например, при измерении штангенциркулем используют совпадение отметок основной и нониусной шкал).

5) При измерении линейных величин независимо от рассмотренных методов различают контактный и бесконтактный методы измерений.

6) По способу выражения результатов измерений различают абсолютные и относительные измерения.

Абсолютное измерение основано на прямых измерениях величины и (или) использовании значений физических констант, например, измерение размеров деталей щтангенциркулем или микрометром.

При относительных измерениях величину сравнивают с одноименной, играющей роль единицы или принятой за исходную, например, измерение диаметра вращающейся детали по числу оборотов соприкасаю-щегося с ней аттестованного ролика.

7) В зависимости от совокупности измеряемых параметров изделия различают поэлементный и комплексный методы измерения.

Поэлементный метод характеризуется измерением каждого параметра изделия в отдельности (например, эксцентриситета, овальности, огранки цилиндрического вала).

Комплексный метод характеризуется измерением суммарного показателя качества, на который оказывают влияние отдельные его составляющие (например, измерение радиального биения цилиндрической детали, на которое влияют эксцентриситет, овальность и др.).

8) В зависимости от измерительных средств, используемых в процессе измерения, различают инструментальный, экспертный, эвристический и органолептический методы измерений.

Инструментальный метод основан на использовании специальных технических средств, в том числе автоматизированных и автоматических.

Экспертный метод основан на использовании данных нескольких специалистов. Широко применяется в квалиметрии, спорте, искусстве, медицине.

Эвристические измерения основаны на интуиции. Широко используется способ попарного сопоставления, когда измеряемые величины сначала сравниваются между собой попарно, а затем производится ранжирование на основании результатов этого сравнения.

Органолептические измерения основаны на использовании органов чувств человека (осязания, обаняния, зрения, слуха и вкуса). Часто используются измерения на основе впечатлений (конкурсы мастеров искусств, соревнования спортсменов).

## **3.3.4. Виды контроля**

Контроль - это процесс получения и обработки информации об объекте (параметре детали, механизма, процесса и т. д.) с целью определения его годности или необходимости введения управляющих воздействий на факторы, влияющие на объект.

Классификация видов контроля [49]

1) По возможности (или невозможности) использования продукции после выполнения контрольных операций различают неразрушающий и разрушающий контроль.

При неразрушающем контроле соответствие контролируемого размера (или значения) норме определяется по результатам взаимодействия различных физических полей и излучений с объектом контроля. Интенсивность полей и излучений выбирается такой, чтобы не только не про-исходило разрушений объекта контроля, но и не менялись его свойства во время контроля. В зависимости от природы физических полей и излучений виды неразрушающего контроля разделяются на следующие группы: акустические, радиационные, оптические, радиоволновые, тепловые, магнитные, вихревые, электрические, проникающих веществ.

При разрушающем контроле определение соответствия (или несоответствия) контролируемого размера (или значения) норме сопровождается разрушением изделия (объекта контроля), например, при проверке изделия на прочность.

2) По характеру распределения по времени различают непрерывный, периодический и летучий контроль.

Непрерывный контроль состоит в непрерывной проверке соответствия контролируемых размеров (или значений) нормам в течение всего процесса изготовления или определённой стадии жизненного цикла.

При периодическом контроле измерительную информацию получают периодически через установленные интервалы времени τ. Период контроля τ может быть как меньше, так и больше времени одной технологической операции τоп. Если τ = τоп, то периодический контроль становится операционным (или послеоперационным).

Летучий контроль проводят в случайные моменты времени.

3) В зависимости от исполнителя контроль разделяется на: самоконтроль, контроль мастером, контроль ОТК (отделом технического контроля) и инспекционный контроль (специально уполномоченными представителями). Инспекционный контроль в зависимости от того, какая организация уполномочила представителя проводить контроль подразделяется на: ведомственный, межведомственный, вневедомственный, государственный (выполняемый контролёрами Госстандарта).

4) По стадии технологического (производственного) процесса отличают входной, операционный и приёмочный (приёмосдаточный) контроль.

Входному контролю подвергают сырьё, исходные материалы, полуфабрикаты, комплектующие изделия, техническую документацию и т.п., иначе говоря, всё то, что используется при производстве продукции или её эксплуатации.

Операционный контроль ещё незавершённой продукции проводится на всех операциях производственного процесса.

Приёмочный контроль готовых, сборочных и монтажных единиц осуществляется в конце технологического процесса.

5) По характеру воздействия на ход производственного (технологического) процесса контроль делится на активный и пассивный.

При активном контроле его результаты непрерывно используются для управления технологическим процессом. Можно сказать, что активный контроль совмещён с производственным процессом в единый контрольно-технологический процесс. Как правило, он выполняется автоматически.

Пассивный контроль осуществляется после завершения либо отдельной технологической операции, либо всего технологического цикла изготовления детали или изделия. Он может бать ручным, автоматизированным и автоматическим.

6) В зависимости от места проведения различают подвижный и стационарный контроль.

Подвижный контроль проводится непосредственно на рабочих местах, где изготавливается продукция (у станка, на сборочных и настроечных стендах и т.д.).

Стационарный контроль проводится на специально оборудованных рабочих местах. Он применяется при необходимости создания специальных условий контроля; при наличии возможности включения в технологический цикл стационарного рабочего места контролёра; при использовании средств контроля, которые применяются только в стационарных условиях; при крупносерийном и массовом производстве.

7) По объекту контроля отличают контроль качества выпускаемой продукции, товарной и сопроводительной документации, технологического процесса, средств технологического оснащения, прохождения рекламации, соблюдения условий эксплуатации, а также контроль технологической дисциплины и квалификации исполнителей.

8) По числу измерений отличают однократный и многократный контроль.

9) По способу отбора изделий, подвергаемых контролю, отличают сплошной и выборочный контроль.

Сплошной (стопроцентный) контроль всех без исключения изготовленных изделий применяется при индивидуальном и мелкосерийном производстве, на стадии освоения новой продукции, по аварийным параметрам (размерам), при селективной сборке.

Выборочный контроль проводится во всех остальных случаях, чаще всего при крупносерийном и массовом производстве. Для сокращения затрат на контроль большой партии изделий (которую в математической статистике принято называть генеральной совокупностью) контролю подвергается только часть партии – выборка, формируемая по определённым правилам, обеспечивающим случайный набор изделий. Если число бракованных изделий в выборке превышает установленную норму, то вся партия (генеральная совокупность) бракуется.

Подробнее о выборочном приемочном и текущем контроле изложено в [48].

### **3.3.5. Методика выполнения измерений**

# Основная потеря точности при измерениях происходит не за счёт возможной метрологической неисправности применяемых средств измерений, а в первую очередь за счёт несовершенства методов и методик выполнения измерений.

# В целом точность измерения зависит от: точности применяемого средства измерения; точности метода измерения; влияния внешних факторов. Например, при измерении массы материала, движущегося по транспортёру, точность базового устройства обычно в 10 - 20 раз выше общей точности взвешивания массы; при поверке ртутных термометров следует учитывать точность "считывания" показаний.

Под методикой измерения понимают совокупность методов, средств, процедур, условий подготовки и проведения измерений, а также правил обработки экспериментальных данных при выполнении конкретных измерений.

По Закону РФ “Об обеспечении единства измерений” измерения должны осуществляться в соответствии с аттестованными в установленном порядке методиками.

Разработка методик выполнения измерений должна включать:

анализ технических требований к точности измерений, изложенных в стандарте, технических условий или технических заданий;

определение конкретных условий проведения измерений;

выбор испытательного и вспомогательного оборудования, а также средств измерений;

разработку при необходимости нестандартных средств измерений;

исследование влияния условий проведения измерений и подготовки испытуемых объектов к измерениям;

определение порядка подготовки средств измерений к работе, последовательности и количества измерений;

разработку или выбор алгоритма обработки экспериментальных данных и правил оформления результатов измерения.

Нормативно-техническими документами (НТД), регламентирующими методику выполнения измерений являются:

1. Государственные стандарты или методические указания Госстандарта России по методикам выполнения измерений. Стандарт разрабатывается в том случае, если применяемые средства измерений внесены в Государственный реестр средств измерений.

2. Отраслевые методики выполнения измерений, используемые в одной отрасли.

3. Стандарты предприятий на методики выполнения измерений, используемые на одном предприятии.

В НТД на методики выполнения измерений предусматриваются: нормы точности измерений; специфика измеряемой величины (диапазон, наименование продукции и т.д.); максимальная автоматизация измерений и обработки данных.

Методики выполнения измерений перед их вводом в действие должны быть аттестованы или стандартизованы. Аттестация включает в себя: разработку и утверждение программы аттестации; выполнение исследований в соответствии с программой; составление и оформление отчёта об аттестации; оформление аттестата методики выполнения измерений.

# При аттестации должна быть проверена правильность учёта всех факторов, влияющих на точность измерений, установлена достоверность их результатов. Аттестацию методик выполнения измерений проводят государственные и ведомственные метрологические службы. При этом государственные метрологические службы проводят аттестацию методик особо точных, ответственных измерений, а также измерений, проводимых в организациях Госстандарта России.

Стандартизация методик применяется для измерений, широко применяемых на предприятиях.

Методики выполнения измерений периодически пересматриваются с целью их усовершенствования.

**3.4. Средства измерений**

Средство измерения - это техническое устройство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства.

**3.4.1. Виды средств измерений**

Технические устройства, предназначенные для обнаружения (индикации) физических свойств, называются индикаторами (стрелка компаса, лакмусовая бумага). С помощью индикаторов устанавливается только наличие измеряемой физической величины интересующего нас свойства материи.

По метрологическому назначению средства измерений делятся на образцовые и рабочие.

Образцовые предназначены для поверки по ним других средств измерений как рабочих, так и образцовых менее высокой точности.

Рабочие средства измерений предназначены для измерения размеров величин, необходимых в разнообразной деятельности человека.

Сущность разделения средств измерений на образцовые и рабочие состоит не в конструкции и не в точности, а в их назначении.

К средствам измерения относятся:

1. Меры, предназначеные для воспроизведения физической величины заданного размера. Различают однозначные и многозначные меры, а также наборы мер (гири, кварцевые генераторы и т. п.). Меры, воспроизводящие физические величины одного размера, называются однозначными. Многозначные меры могут воспроизводить ряд размеров физической величины, часто даже непрерывно заполняющих некоторый промежуток между определенными границами. Наиболее распространенными многозначными мерами являются миллиметровая линейка, вариометр и конденсатор переменной емкости.

В наборах и магазинах отдельные меры могут объединяться в различных сочетаниях для воспроизведения некоторых промежуточных или суммарных, но обязательно дискретных размеров величин. В магазинах объединены в одно механическое целое, снабженное специальными переключателями, которые связаны с отсчетными устройствами. В противоположность этому набор состоит обычно из нескольких мер, которые могут выполнять свои функции, как в отдельности, так и в различных сочетаниях друг с другом (набор концевых мер длины, набор гирь, набор мер добротности и индуктивности и т. д.).

Сравнение с мерой выполняют с помощью специальных технических средств - компараторов (равноплечие весы, измерительный мост и т. п.).

К однозначным мерам относятся также образцы и образцовые вещества. Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов представляют собой специально оформленные тела или пробы вещества определенного и строго регламентированного содержания, одно из свойств которых при определенных условиях является величиной с известным значением. К ним относятся образцы твердости, шероховатости, белой поверхности, а также стандартные образцы, используемые при поверке приборов для определения механических свойств материалов. Образцовые вещества играют большую роль в создании реперных точек при осуществлении шкал. Например, чистый цинк служит для воспроизведения температуры 419,58 °С, золото - 1064,43 °С.

В зависимости от погрешности аттестации меры подразделяются на разряды (меры 1, 2-го и т. д. разрядов), а погрешность мер является основой их деления на классы. Меры, которым присвоен тот или иной разряд, применяются для поверки измерительных средств и называются образцовыми.

2. Измерительные преобразователи - это средства измерений, перерабатывающие измерительную информацию в форму, удобную для дальнейшего преобразования, передачи, хранения и обработки, но, как правило, не доступную для непосредственного восприятия наблюдателем (термопары, измерительные усилители и др.).

Преобразуемая величина называется входной, а результат преобразования - выходной величиной. Соотношение между ними задается функцией преобразования (статической характеристикой). Если в результате преобразования физическая природа величины не изменяется, а функция преобразования является линейной, то преобразователь называется масштабным, или усилителем, (усилители напряжения, измерительные микроскопы, электронные усилители). Слово “усилитель” обычно употребляется с определением, которое приписывается ему в зависимости от рода преобразуемой величины (усилитель напряжения, гидравлический усилитель) или от вида единичных преобразований, происходящих в нем (ламповый усилитель, струйный усилитель). В тех случаях, когда в преобразователе входная величина превращается в другую по физической природе величину, он получает название по видам этих величин (электромеханический, пневмоемкостный и так далее).

По месту, занимаемому в приборе, преобразователи подразделяются на (рис. 3.1): первичные, к которым подводится непосредственно измеряемая физическая величина; передающие, на выходе которых образуются величины, удобные для их регистрации и передачи на расстояние; промежуточные, занимающие в измерительной цепи место после первичных.

3. Измерительные приборы относятся к средствам измерений, предназначенным для получения измерительной информации о величине, подлежащей измерению, в форме, удобной для восприятия наблюдателем.

Наибольшее распространение получили приборы прямого действия, при использовании которых измеряемая величина подвергается ряду последовательных преобразований в одном направлении, т.е. без возвращения к исходной величине. К приборам прямого действия относится большинство манометров, термометров, амперметров, вольтметров и т. д.

Значительно большими точностными возможностями обладают приборы сравнения, предназначенные для сравнения измеряемых величин с величинами, значения которых известны. Сравнение осуществляется с помощью компенсационных или мостовых цепей. Компенсационные цепи применяются для сравнения активных величин, т. е. несущих в себе некоторый запас энергии (сил, давлений и моментов сил, электрических напряжений и токов, яркости источников излучения и т. д.). Сравнение проводится путем встречного включения этих величин в единый контур и наблюдения их разностного эффекта. По этому принципу работают такие приборы, как равноплечие и неравноплечие весы (сравнение на рычаге силовых эффектов действия масс), грузопоршневые и грузопружинные манометрические в вакуумметрические приборы (сравнение на поршне силовых эффектов измеряемого давления и мер массы) и др.

Для сравнения пассивных величин (электрические, гидравлические, пневматические и другие сопротивления) применяются мостовые цепи типа электрических уравновешенных или неуравновешенных мостов. Конечно, пассивные величины могут быть вначале преобразованы в активные или наоборот и сравниваться соответственно в компенсационных или мостовых цепях.

По способу отсчета значений измеряемых величин приборы подразделяются на показывающие, в том числе аналоговые и цифровые, и на регистрирующие.

Наибольшее распространение получили аналоговые приборы, отсчетные устройства которых состоят из двух элементов - шкалы и указателя, причем один из них связан с подвижной системой прибора, а другой - с корпусом. В цифровых приборах отсчет осуществляется с помощью механических, электронных или других цифровых отсчетных устройств. Цифровые приборы прямого действия применяются наиболее часто в тех случаях, когда измеряемая величина предварительно легко преобразуется в угол поворота некоторого вала (лопастные счетчики) или в последовательность импульсов (регистрация радиоактивных излучений).

По способу записи измеряемой величины, регистрирующие приборы делятся на самопишущие и печатающие. В самопишущих приборах (например, барограф или шлейфовый осциллограф) запись показаний представляет собой график или диаграмму. В печатающих приборах информация о значении измеряемой величины выдается в числовой форме на бумажной ленте.

Автоматические приборы сравнения выпускаются чаще всего в виде комбинированных приборов, в которых шкальный или цифровой отсчет сочетается с записью на диаграмме или с печатанием результатов измерений.

4. Вспомогательные средства измерений. К этой группе относятся средства измерений величин, влияющих на метрологические свойства другого средства измерений при его применении или поверке. Показания вспомогательных средств измерений используются для вычисления поправок к результатам измерений (например, термометров для измерения температуры окружающей среды при работе с грузопоршневыми манометрами) или для контроля за поддержанием значений влияющих величин в заданных пределах (например, психрометров для измерения влажности при точных интерференционных измерениях длин).

5. Измерительные установки. Для измерения какой-либо величины или одновременно нескольких величин иногда бывает недостаточно одного измерительного прибора. В этих случаях создают целые комплексы расположенных в одном месте и функционально объединенных друг с другом средств измерений (мер, преобразователей, измерительных приборов и вспомогательных средств), предназначенных для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем.

6. Измерительные системы - это средства и устройства, территориально разобщённые и соединённые каналами связи. Информация может быть представлена в форме, удобной как для непосредственного восприятия, так и для автоматической обработки, передачи и использования в автоматизированных системах управления.

**3.4.2. Измерительные сигналы [5]**

В рамках единой измерительной системы информация о значении физических величин передается от одного средства измерения к другому с помощью сигналов.

Наиболее часто в качестве сигналов используются:

сигналы постоянного уровня (постоянные электрические токи и напряжения, давление сжатого воздуха, световой поток);

синусоидальные сигналы (переменный электрический ток или напряжение);

последовательность прямоугольных импульсов (электрических или световых).

Сигнал характеризуется рядом параметров. В первом случае единственным параметром сигнала является его уровень. Синусоидальный сигнал характеризуется своей амплитудой, фазой и частотой, последовательность прямоугольных импульсов - амплитудой, фазой, частотой, шириной импульсов или комбинацией импульсов различного уровня в течение определенного промежутка времени.

Для того, чтобы исходный сигнал стал измерительным, необходимо один из его параметров связать функциональной зависимостью с измеряемой физической величиной. Параметр сигнала, выбранный в качестве такового, называется информативным, а все остальные параметры - неинформативными. Процесс преобразования исходного сигнала в измерительный, т. е. преобразование одного из параметров исходного сигнала, генерируемого некоторым источником, в информативный параметр, называется модуляцией. В зависимости от вида модуляции измерительные сигналы можно классифицировать следующим образом.

Сигналы постоянного уровня характеризуются лишь одним параметром и поэтому могут быть модулированы только по уровню. Уровень сигнала явля­ется при этом мерой измеряемой величины.

Синусоидальные сигналы могут быть модулированы по амплитуде, фазе или частоте. В зависимости от того, который из этих параметров сигнала является мерой измеряемой величины, говорят об амплитудно-модулированных, фазомодулированных или частотно-модулированных сигналах.

Последовательность прямоугольных импульсов может быть модулирована по амплитуде (амплитудно-импульсно модулированные сигналы), по частоте (частотно-импульсно модулированные сигналы), по фазе (фазоимпульсно модулированные сигналы) или по ширине импульсов (широтно-импульсно модулированные сигналы). Сигнал, в котором различным значениям измеряемой величины поставлена в соответствие определенная комбинация импульсов различного уровня, называется кодоимпульсным, или цифровым.

В зависимости от характера изменения информативного параметра сигнала по уровню и во времени измерительные сигналы подразделяются на:

непрерывные по уровню, или аналоговые, если их информативный параметр может принимать любые значения в заданном диапазоне;

дискретные, или квантованные по уровню, если их информативный параметр может принимать, лишь некоторое ограниченное число значений в пределах заданного интервала;

непрерывные во времени, если они существуют в течение всего времени измерения и в любой момент может быть выведен на регистрацию;

дискретизированные, или квантованные по времени, если они несут информацию о значении измеряемой физической величины, лишь в течение некоторых промежутков времени. К этой группе относятся, например, все виды импульсно-модулированных сигналов.

При анализе измерительных сигналов их принято описывать либо функциями времени, либо с помощью спектральных представлений, основанных на преобразованиях Фурье и Лапласа.

**3.4.3. Метрологические показатели средств измерений**

При выборе средства измерения в зависимости от заданной точности изготовления деталей необходимо учитывать их метрологические показатели. К ним относятся:

1. Длина деления шкалы - это расстояние между серединами двух соседних отметок (штрихов, точек и т.п.) шкалы.

2. Цена деления шкалы - это разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы (у микрометра она равна 0,01мм) .

3. Градуировочная характеристика - зависимость между значениями величин на выходе и входе средства измерений. Градуировочную характеристику снимают для уточнения результатов измерения. К ним относятся, например, номинальная статическая характеристика преобразования измерительного преобразователя, номинальное значение однозначной меры, пределы и цена деления шкалы, виды и параметры цифрового кода средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

4. Диапазон показаний - область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы, т. е. наибольшим и наименьшим значениями измеряемой величины. Например, для оптиметра ИКВ-3 диапазон показаний составляет ±0,1мм.

5. Диапазон измерений - область значений измеряемой величины с нормированными допускаемыми погрешностями средства измерения. Для того же оптиметра он составляет 0-200мм.

6. Чувствительность прибора - отношение изменения сигнала на выходе измерительного прибора к изменению измеряемой величины (сигнала на входе). Так, если при измерении диаметра вала d=100мм. Изменение измеряемой величины Δd=0,01мм вызвало перемещение стрелки показывающего устройства на Δl=10мм, абсолютная чувствительность прибора составляет S=Δl/Δd=10/0,01=1000. Для шкальных измерительных приборов абсолютная чувствительность численно равна передаточному отношению.

7. Вариация (нестабильность) показаний прибора - алгебраическая разность между наибольшим и наименьшим результатами измерений при многократном измерении одной и той же величины в неизменных условиях.

8. Стабильность средства измерений - свойство, выражающее неизменность во времени его метрологических характеристик (показаний).

**3.4.4. Метрологические характеристики средств измерений**

Все средства измерений, независимо от их исполнения, имеют ряд общих свойств, необходимых для выполнения ими функционального назначения. Технические характеристики, описывающие эти свойства и оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений, называются метрологическими характеристиками средств измерений.

В зависимости от специфики и назначения средств измерений нормируются различные наборы или комплексы метрологических характеристик. Однако эти комплексы должны быть достаточны для учета свойств средств измерений при оценке погрешностей измерений.

Метрологические характеристики, входящие в установленный комплекс, выбирают такими, чтобы обеспечить возможность их контроля при приемлемых затратах. В эксплуатационной документации на средства измерений указывают рекомендуемые методы расчета инструментальной составляющей погрешности измерений при использовании средств измерения данного типа в реальных условиях применения.

По ГОСТу 8.009 – 84 “ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений” предусмотрена следующая номенклатура метрологических характеристик:

1). Характеристики, предназначенные для определения результатов измерений (без введения поправок):

функция преобразования измерительного преобразователя - f(x);

значение однозначной или многозначной меры – у;

цена деления шкалы измерительного прибора или многозначной меры;

вид входного кода, число разрядов кода, цена единицы наименьшего разряда средств измерений, предназначенных для выдачи результатов в цифровом коде.

2). Характеристики погрешностей средств измерений включают: значение погрешности, ее систематические и случайные составляющие, погрешности случайной составляющей ΔслН от гистерезиса – вариация Н выходного сигнала (показания).

Для систематической составляющей Δсист погрешности средств измерений выбирают характеристики из числа следующих:

значение систематической систематической составляющей Δсист;

значение систематической составляющей Δсист, математическое ожидание М[Δсист] и среднее квадратическое отклонение σ[Δсист] систематической составляющей погрешности.

Для случайной составляющей Δсл погрешности выбирают характеристики из числа следующих:

среднее квадратическое отклонение σ[Δсл] случайной составляющей погрешности;

среднее квадратическое отклонение σ[Δсл] случайной составляющей погрешности и нормализованная автокорреляционная функция rΔсл(τ) или функция спектральной плотности SΔсл(ω) случайной составляющей погрешности.

В нормативно-технической документации на средства измерений конкретных видов или типов допускается нормировать функции или плотности распределения вероятностей систематической и случайной составляющих погрешности.

3. Характеристики чувствительности средств измерений к влияющим величинам выбираются из числа следующих:

функция влияния ψ(ξ);

изменения ε(ξ) значений метрологических характеристик средства измерения, вызванные изменением влияющих величин ξ в установленных пределах.

4. Динамические характеристики отражают инерционные свойства средства измерений при воздействии на него меняющихся во времени величин - параметров входного сигнала, внешних влияющих величин, нагрузки.

По степени полноты описания инерционных свойств средств измерений динамические характеристики делятся на полные и частные.

К полным динамическим характеристикам относятся:

дифференциальное уравнение, описывающее работу средства измерений;

передаточная функция;

переходная характеристика;

импульсная переходная характеристика;

амплитудно-фазовая характеристика;

амплитудно-частотная характеристика для минимально-фазовых средств измерения;

совокупность амплитудно-фазовых и фозово-частотных характеристик.

Частичными динамическими характеристиками могут быть отдельные параметры полных динамических характеристик или характеристики, не отражающие полностью динамических свойств средств измерений, но необходимые для выполнения измерений с требуемой точностью (например, время реакции, коэффициент демпфирования, значение амплитудно-частотной характеристики на резонансной частоте, значение резонансной собственной круговой частоты). Комплекс их оговаривается в соответствующих стандартах.

Нормы на отдельные метрологические характеристики приводятся в эксплуатационной документации (паспорте, техническом описании, инструкции по эксплуатации и т. д.) в виде номинальных значений, коэффициентов функций, заданных формулами, таблицами или графиками пределов допускаемых отклонений от номинальных значений функций.

В ГОСТе 8.009 – 84 приведены способы нормирования рассмотренных выше метрологических характеристик.

**3.4.5. Классы точности средств измерений**

Учёт всех нормируемых метрологических характеристик средств измерений является сложной и трудоёмкой процедурой. На практике такая точность не нужна. Поэтому для средств измерений, используемых в повседневной практике, принято деление на классы точности, которые дают их обобщённую метрологическую характеристику.

Требования к метрологическим характеристикам устанавливаются в стандартах на средства измерений конкретного типа.

Классы точности присваиваются средствам измерений с учётом результатов государственных приёмочных испытаний.

Обозначения классов точности наносятся на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативно-технических документах. Классы точности могут обозначаться буквами (например, М, С и т. д.) или римскими цифрами (I,II,III и т. д.). Обозначение классов точности по ГОСТу 8.401–80 может сопровождаться дополнительными условными знаками:

* 0,5, 1,6, 2,5 и т. д.- для приборов, приведенная погрешность γ=Δ/ХN которых составляет 0,5, 1,6, 2,5% от нормирующего значения ХN (Δ - пределы допустимой абсолютной погрешности). При этом ХN принимается равным бо’льшему из модулей пределов измерений, если нулевое значение входного (выходного) сигнала находится на краю или вне диапазона измерений;
* - то же, что и в предыдущем случае, но при ХN равным длине шкалы или ее части;



* , , и т. д. - для приборов, у которых относительная погрешность δ=Δ/х составляет 0,1, 0,4, 1,0% непосредственно от полученного значения измеряемой величины х;

0,02/0,01 - для приборов, у которых измеряемая величина не может отличаться от значения х, показанного указателем, больше, чем на [C + d⋅

(Хк ⁄х - 1)]%, где С и d - числитель и знаменатель соответственно в обозначении класса точности; Хк – бо'льший (по модулю) из пределов измерений прибора. Примеры обозначения классов точности приведены на рис. 3.2.

**3.4.6. Метрологическая надёжность средств измерения**

В процессе эксплуатации любого средства измерения может возникнуть неисправность или поломка, называемые отказом.

Метрологическая надёжность - это свойство средств измерений сохранять установленные значения метрологических характеристик в

**Рис. 3 .2. Лицевые панели приборов: *а*** – вольтметра класса точности 0,5 с равномерной шкалой; ***б***– амперметра класса точности 1,5

с равномерной шкалой; ***в*** – амперметра класса точности 0,02/0,01 с равномерной шкалой; ***г*** - мегаомметра класса точности с неравномерной шкалой

течение определённого времени при нормальных режимах и рабочих условиях эксплуатации. Она характеризуется интенсивностью отказов, вероятностью безотказной работы и наработкой на отказ.

Интенсивность отказов определяется выражением

,



где L - число отказов; N - число однотипных элементов; Δt - промежуток времени.

Для средства измерения, состоящего из n типов элементов, интенсивность отказов

,



где mi - количество элементов i-го типа.

Вероятность безотказной работы .



Наработка на отказ .



Для внезапного отказа, интенсивность отказов которого не зависит от времени работы средства измерения,

Λсум(t) = Λсум = const; P(t) = exp(-Λсум⋅t); Tср = L/Λсум .

Межповерочный интервал, в течение которого обеспечивается заданная вероятность безотказной работы, определяется по формуле

,



где Рмо - вероятность метрологического отказа за время между поверками;

Р(t) - вероятность безотказной работы.

# В процессе эксплуатации может производиться корректировка межповерочного интервала.

**3.4.7. Метрологическая аттестация средств измерений**

Под метрологической аттестацией понимают исследование средства измерений, выполняемое метрологическим органом с целью определения его метрологических свойств и выдачи соответствующего документа с указанием полученных данных.

По результатам метрологической аттестации средству измерений приписываются определённые метрологические характеристики, определяется возможность применения его в качестве образцового или рабочего средства измерений. В настоящее время под метрологической аттестацией обычно понимают всестороннее исследование образцовых или нестандартных средств измерений, а также стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов.

Нестандартные средства измерений (НСИ). Установлен порядок метрологического обеспечения эксплуатации нестандартных средств измерений, который распространяется также на:

ввозимые из-за границы единичными экземплярами;

единичные экземпляры серийных средств измерений, отличающиеся от условий, для которых нормированы их метрологические характеристики;

серийно выпускаемые образцы, в схему и конструкцию которых внесены изменения, влияющие на их метрологические характеристики.

Нестандартными могут быть как рабочие, так и образцовые средства измерений.

Задачами метрологического обеспечения НСИ являются:

1. Исследование метрологических характеристик и установление соответствия НСИ требованиям технических заданий, либо паспорту (проекту) завода изготовителя.

2. Установление рациональной номенклатуры НСИ.

3. Обеспечение НСИ средствами аттестации, поверки (НТД по поверке) при их разработке, изготовлении и эксплуатации.

4. Обеспечение постоянной пригодности НСИ к применению по назначению с нормированной для них точностью.

5. Сокращение сроков и снижение затрат на разработку, изготовление и эксплуатацию.

Научно-методическое руководство деятельностью предприятий по метрологическому обеспечению НСИ осуществляют головные и базовые организации метрологической службы министерств (ведомств), метрологические институты, центры стандартизации и метрологии Госстандарта России.

Вновь разработанные или закупленные по импорту НСИ допускаются к применению только после их метрологической аттестации. Если существует договор о взаимном признании результатов аттестации средств измерений со страной, из которой импорируется НСИ, то аттестация в России может не проводиться.

За разработкой, изготовлением и эксплуатацией НСИ ведётся авторский и государственный (в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора) надзор , а также ведомственный конт-роль.

Авторский контроль осуществляется разработчиком НСИ совместно с метрологической службой разработчика. Он предусматривает участие в подготовке и проведении метрологической аттестации НСИ, оказание помощи при разработке нормативно-технической документации и организации поверки НСИ.

Ведомственный метрологический контроль за разработкой, изготов-лением, аттестацией и поверкой НСИ проводится метрологическими службами министерства (ведомства).

**3.5. Погрешность измерений**

Погрешность измерений - это отклонение значений величины, найденной путём её измерения, от истинного (действительного) значения измеряемой величины.

Погрешность прибора - это разность между показанием прибора и истинным (действительным) значением измеряемой величины.

Разница между погрешностью измерения и погрешностью прибора заключается в том, что погрешность прибора связана с определёнными условиями его поверки.

Погрешность может быть абсолютной и относительной.

Абсолютной называют погрешность измерения, выраженную в тех же единицах, что и измеряемая величина. Например, 0,4В, 2,5мкм и т. д. Абсолютная погрешность

Δ = А – Хист ≈ А – Хд,

где А - результат измерения; Xист - истинное значение измеряемой величины; Xд - действительное значение измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения представляет собой отношение абсолютной погрешности измерения к истинному (действительному) значению измеряемой величины и выражается в процентах или долях измеряемой величины:

.



В зависимости от условий измерения погрешности подразделяются на статические и динамические.

Статической называют погрешность, не зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени.

Динамической называют погрешность, зависящую от скорости изменения измеряемой величины во времени. Возникновение динамичесой погрешности обусловлено инерционностью элементов измерительной цепи средства измерений. Динамической погрешностью средства измерений является разность между погрешностью средства измерений в динамических условиях и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

**3.5.1. Систематические и случайные погрешности**

Систематической погрешностью называется погрешность, остающаяся постоянной или закономерно изменяющейся во времени при повторных измерениях одной и той же величины.

Примером систематической погрешности, закономерно изменяющейся во времени, может служить смещение настройки прибора во времени.

Случайной погрешностью измерения называется погрешность, которая при многократном измерении одного и того же значения не остаётся постоянной. Например, при измерении валика одним и тем же прибором в одном и том же сечении получаются различные значения измеренной величины.

Систематические и случайные погрешности чаще всего появляются одновременно.

Для выявления систематической погрешности производят многократные измерения образцовой меры и по полученным результатам определяют среднее значение размера. Отклонение среднего значения от размера образцовой меры характеризует систематическую погрешность. которую называют "средней арифметической погрешностью", или "средним арифметическим отклонением".

Систематическая погрешность всегда имеет знак отклонения, т.е. "+" или "-". Систематическая погрешность может быть исключена введением поправки.

При подготовке к точным измерениям необходимо убедиться в отсутствии постоянной систематической погрешности в данном ряду измерений. Для этого нужно повторить измерения, применив при этом уже другие средства измерения. По возможности нужно изменить и общую обстановку опыта - производить его в другом помещении, в другое время суток.

Прогрессивные и периодические систематические погрешности в противоположность постоянным можно обнаружить при многократных измерениях.

Обработка данных и оценка параметров случайных погрешностей производится методами математической статистики, изложенными в [42, 50].

При расчёте предельной погрешности измерения определяют числовое значение погрешности измерения от всех составляющих и производят суммирование:

,



где знаки "+" или "-" ставятся из условия, чтобы систематические и случайные погрешности суммировались по модулю.

Если в случайной погрешности известно среднее квадратическое отклонение, то

,



где К - показатель, указывающий доверительные границы для предельной случайной погрешности измерения (при К=1 р=0,65; при К=2 р=0,945; при К=3 р=0,9973).

Если результаты измерений зависят от большого числа разнообразных факторов, то

y = F(x1, x2, …..xn) ,

где xi - переменные функциональные параметры.

Каждый параметр может иметь отклонение Δxi (погрешность) от предписанного значения xi. Поскольку погрешность Δxi мала по сравнению с величиной xi, суммарная погрешность Δy функции y можно вычислять по формуле , (3.1)



где ∂y/∂xi - передаточное отношение (коэффициент влияния) параметра xi.

Формула (3.1) справедлива лишь для систематических погрешностей Δxi.

Для случайных погрешностей (когда отдельные составляющие не всегда принимают предельные значения) используются теоремы теории вероятностей о дисперсии, то есть

. (3.2)



Суммарная погрешность при наличии только случайных составляющих δxi погрешностей

,



где m - число попарно корреляционно связанных параметров;

ki и kj - коэффициенты относительного рассеяния, характеризующие степень отличия закона распределения погрешности данного параметра от нормального;

rij - коэффициент корреляции, существующий при наличии корреляционной связи между параметрами xi и xj.

При наличии и систематических и случайных составляющих погрешностей вычисляют доверительные границы суммарной погрешности:

Δyсум = Δy ± k⋅σy ,

где k - масштабный коэффициент интервала распределения, зависящий от закона распределения и принятой доверительной вероятности. Так, при доверительной вероятности Р = 0,95 для закона нормального распределения k = 2, а для закона Максвелла k = 3,6.

Пример. В результате измерений и последующего вычисления по формуле (3.1) получена суммарная систематическая погрешность результата измерения Δy =

-0,7 мкм, среднее квадратическое этого результата измерения, вычисленное по формуле (3.2) σy = 0,4 мкм. При доверительной вероятности Р =0,95 предел допускаемой погрешности δизм = +1 мкм. Тогда верхняя и нижняя доверительные границы погрешности

Δyсум в = -0,7 + 2⋅0,4 = +0,1 мкм; Δyсум н = -0,7 - 2⋅0,4 = -1,5 мкм.

Так как Δyсум н > δизм , выбранный метод и средство измерения не удовлетворяют требованиям точности. Следовательно, необходимо скомпенсировать систематическую составляющую погрешности, например, путём изготовления образца для настройки измерительного средства. Размер образца должен быть больше его начального размера на 0,7 мкм; тогда будет справедливо неравенство 0,8 < 1 мкм и проведённые измерения будут удовлетворять требованиям по точности.

**3.5.2. Причины возникновения погрешностей измерения**

Имеется ряд слагаемых погрешностей, которые являются доминирующими в общей погрешности измерения. К ним относятся:

1. Погрешности, зависящие от средств измерения. Нормируемую допустимую погрешность измерительного средства следует рассматривать как погрешность измерения при одном из возможных вариантов использования этого измерительного средства, поскольку проверка точности данных приборов заключается чаще всего в измерении им эталона.

2. Погрешности, зависящие от установочных мер. Установочные меры могут быть универсальными (концевые меры) и специальными (изготовленными по виду измеряемой детали). Погрешность измерения будет меньше, если установочная мера будет максимально подобна измеряемой детали по конструкции, массе, материалу, его физическим свойствам, способу базирования и т.д. Погрешности от концевых мер длины возникают из-за погрешности изготовления (классы) или погрешности аттестации (разряды), а также из-за погрешности их притирки.

3. Погрешности, зависящие от измерительного усилия. При оценке влияния измерительного усилия на погрешность измерения необходимо выделить упругие деформации установочного узла и деформации в зоне контакта измерительного наконечника с деталью.

4. Погрешности, происходящие от температурных деформаций (температурные погрешности). Погрешности возникают из-за разности температур объекта измерения и измерительного средства. Существуют два основных источника, обуславливающих погрешность от температурных деформаций: отклонение температуры воздуха от 20о С и кратко-временные колебания температуры воздуха в процессе измерения.

Максимальное влияние отклонений температуры на погрешность измерения Δlt можно рассчитать по формуле

Δlt1 = l⋅Δt1⋅(αп - αд)max ,

где Δt1 - отклонение температуры от 20оС;

αп , αд - коэффициенты линейных расширений прибора и детали.

Максимальное влияние кратковременных колебаний температуры среды на погрешность измерения будет иметь место в том случае, если колебания температуры воздуха не вызывают изменений температуры измерительного средства, а температура объекта измерения близко следует за температурой воздуха (или наоборот):

Δlt2 = l⋅Δt2⋅αmax ,

где Δt2 - кратковременные колебания температуры воздуха в процессе измерения;

αmax - наибольшее значение коэффициента линейного расширения (материала прибора или измеряемой детали).

Общая деформация по двум случайным составляющим Δt1 и Δt2 выразится формулой

.



Могут возникнуть и дополнительные деформации при использовании накладных приборов.

5. Погрешности, зависящие от оператора (субъективные погрешности). Возможны четыре вида субъективных погрешностей:

погрешность отсчитывания (особенно важна, когда обеспечивается погрешность измерения, не превышающая цену деления); погрешность присутствия (проявляется в виде влияния теплоизлучения оператора на температуру окружающей среды, а тем самым и на измерительное средство); погрешность действия (вносится оператором при настройке прибора); профессиональные погрешности (связаны с квалификацией оператора, с отношением его к процессу измерения).

6. Погрешности при отклонениях от правильной геометрической формы. При измерении деталей с целью учёта возможной погрешности формы рекомендуется:

измерение производить в нескольких точках (как правило, в шести);

у установочных деталей перед аттестацией измерить отклонение от геометрической формы;

на образцовой детали с отклонениями формы выделить и маркировать участок, аттестовать его и по нему производить настройку;

при выяснении "действующих" размеров деталей следует стремиться использовать измерительные наконечники по конфигурации, идентичные сопрягаемой детали ("действующий" размер - это размер, который будет действовать в машине и выполнять своё служебное назначение).

7. Дополнительные погрешности при измерении внутренних размеров. К специфическим погрешностям измерения отверстий относятся:

погрешности, возникающие при смещении линии измерения относительно контролируемого диаметра как в плоскости, перпендикулярной к оси контролируемого отверстия, так и в осевой плоскости;

погрешности, вызванные шероховатостью поверхности отверстия, особенно при использовании ручных приборов;

погрешности, обусловленные динамикой процесса совмещения линии измерения одновременно в двух плоскостях;

погрешности от настойки прибора на размер.

**3.5.3. Критерии качества измерений**

Качество измерений характеризуется точностью, достоверностью, правильностью, сходимостью и воспроизводимостью измерений, а также размером допустимых погрешностей.

Точность - это качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Высокая точность измерений соответствует малым погрешностям как систематическим, так и случайным.

Точность количественно оценивают обратной величиной модуля относительной погрешности. Например, если погрешность измерений равна 10-6, то точность равна 106.

Достоверность измерений характеризует степень доверия к результатам измерений. Достоверность оценки погрешностей определяют на основе законов теории вероятностей и математической статистики. Это даёт возможность для каждого конкретного случая выбирать средства и методы измерений, обеспечивающие получение результата, погрешности которого не превышают заданных границ с необходимой достоверностью.

Под правильностью измерений понимают качество измерений, отражающее близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

Сходимость - это качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях. Сходимость измерений отражает влияние случайных погрешностей.

Воспроизводимость - это такое качество измерений, которое отражает близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в различных условиях (в различное время, в различных местах, различными методами и средствами).

**3.5.4. Планирование измерений**

В простейшем случае планирование измерений сводится к нахождению оптимального числа измерений n набора величин X1,...Xn, а затем статистических характеристик:

среднего арифметического ,



где - среднее арифметическое выборки; - его доверительный интервал;



среднего квадратического выборки Sn ≈ σn (n→∞).

Доверительный интервал, на величину которого истинное значение может отличаться от выборочного ,



,



где tn-1 - табличный коэффициент Стьюдента, зависящий от доверительной вероятности Р и числа измерений (n-1). На практике выбирают: Р ≈ 0,68, что соответствует ±1σ; Р ≈ 0,95 соответствует ±2σ; Р ≈ 0,997 соответствует ±3σ.

Наибольшее число требуемых испытаний

,



где m - число предварительных экспериментов, заведомо меньшее, чем требуемое.

Таким образом, исходными, предварительно выбранными величинами при планировании измерений, являются: ΔX - максимальное допустимое отклонение среднего арифметического; Р - доверительная вероятность; m - число предварительных испытаний.

**3.6. Выбор измерительного средства**

Обоснованный выбор измерительного средства необходим как для метрологического, инженерного и научного эксперимента, так и для практической деятельности в условиях производства и оказания услуг.

**3.6.1. Подготовка и выполнение измерительного эксперимента [4]**

Умение проводить научные исследования становится для инженера необходимостью, так как часто лишь с их помощью удается учесть особенности конкретных условий производства и выявить резервы повышения его эффективности.

Эксперимент является главным орудием научного метода познания, на котором основывается наука. Лишь эксперимент, дающий повторяющиеся результаты и поддающийся воспроизведению разными исследователями, позволяет установить или подтвердить научную истину. Эксперимент включает в себя ряд опытов, в процессе каждого из которых происходит воспроизведение исследуемого явления в определенных условиях проведения эксперимента при возможности регистрации его результатов.

Для проведения метрологического эксперимента необходимо: определиться с методикой выполнения измерений; выбрать метод измерения, средство измерения и вспомогательные устройства; подготовиться к измерению и опробованию средства измерения; осуществить контроль условий выполнения измерений; установить число наблюдений при измерении; учесть систематические погрешности и уменьшить их; обработать результаты наблюдений и оценить погрешность измерений; интерпретировать и представить результаты измерения; округлить результаты наблюдений и измерений.

Методика выполнения измерений (МВИ) - нормативно-технический документ, в котором установлена совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерений. В МВИ должны устанавливаться: ее назначение, нормы точности и область применения; метод (методы) измерений; требования к средствам измерений (СИ) и вспомогательным устройствам, необходимым для выполнения измерений; требования к безопасности, включая экологическую безопасность; требования к квалификации операторов; условия выполнения измерений; операции подготовки к выполнению измерений; экспериментальные операции, выполняемые для получения результатов наблюдений при измерении; способы обработки результатов наблюдений и оценки показателей точности измерений; требования к оформлению результатов измерений.

Разработку или выбор МВИ начинают с анализа объекта, условий и цели измерений и установления соответствующей модели объекта измерений. Под моделью (содержащей физические, математические, структурные, смысловые и другие аспекты) объекта измерений (ОИ) — понимают формализованное описание ОИ, основанное на совокупности уже имеющихся знаний об ОИ. В качестве измеряемых величин следует выбирать такие параметры или характеристики модели ОИ, которые наиболее близко соответствуют цели измерения.

Погрешностями модели можно пренебрегать, если они не превышают 10 % от допускаемой погрешности измерений.

Примеры простейших моделей ОИ

1. ОИ — вал; модель ОИ — прямой круговой цилиндр; измеряемый параметр — диаметр цилиндра в любом поперечном сечении; источники погрешности модели — эллиптичность, граненость и конусность вала.

2. ОИ — электрическая сеть переменного тока как потенциальный источник мощности, выделяющейся в активной нагрузке; модель ОИ — синусоидальное напряжение U = Um ⋅sinωt с амплитудой Um; измеряемый параметр — действующее значение напряжения ;



источник погрешности модели — отклонение временной зависимости напряжения от синусоидальной.

Выбор метода измерений определяется принятой моделью ОИ и доступными СИ. Под методом измерений понимают прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей (или шкалой) в соответствии с реализованным принципом измерений.

При выборе метода измерений добиваются того, чтобы погрешность метода измерений, т.е. составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятых модели и метода измерений (иначе, теоретическая погрешность), не сказывалась заметно на результирующей погрешности измерения, т.е. не превышала 30 % от нее. Изменения измеряемых параметров модели в течение цикла наблюдений, как правило, не должны превышать 10 % от заданной погрешности измерения. Если возможны альтернативы, учитывают и экономические соображения: ненужное завышение точности модели и метода измерения приводят к необоснованным затратам. То же относится и к выбору СИ.

Выбор средств измерений и вспомогательных устройств определяется измеряемой величиной, принятым методом измерений и требуемой точностью результата измерений (нормами точности). Измерения с применением СИ недостаточной точности малоценны (даже бессмысленны), так как могут быть причиной неправильных выводов. Применение излишне точных СИ экономически невыгодно. Учитывают также диапазон изменений измеряемой величины, условия измерений, эксплуатационные качества СИ, их стоимость.

Основное внимание уделяют погрешностям СИ. При этом добиваются выполнения условия

ΔΣ = Δмод + Δм + ΔСИ + Δусл + Δо ≤ Δд ,

где Δд - предельно допускаемая погрешность результатов измерений;

предельные погрешности: Δмод - модели измерений, Δм - метода измерений; ΔСИ — средства измерений, Δусл - дополнительные погрешности, обусловленные воздействием влияющих факторов условий измерений, Δо - оператора.

Этот критерий выбора СИ достаточно надежен, но дает завышенную на 20—30 % оценку суммарной погрешности измерения ΔΣ. Если такой запас по точности не допустим, суммирование составляющих ΔΣ следует произвести по формулам для случайных погрешностей.

Подготовка к измерениям и опробование средств измерений. При подготовке к измерениям оператор должен:

1. Подготовить ОИ (например, очистить) и создать необходимые (по НТД) условия измерений (испытаний) — установить в рабочее положение, включить питание, охлаждение, прогреть его необходимое время и т. п.

2. Опробовать СИ. Проверить действие органов управления, регулировки, настройки и коррекции. Если СИ снабжены средствами самокалибровки (тестирования), выполнить соответствующие операции.

3. Провести 2—3 пробных наблюдения и сравнить результаты с ожидаемыми. При непредвиденно большом расхождении результатов проанализовать причины и устранить их.

Контроль условий выполнения измерений. Сохранение метрологических характеристик СИ гарантируется для нормальных условий измерений (табл. 3.2). Однако реальное проведение измерений в этих нормальных условиях маловероятно. Поэтому в эксплуатационной документации (ЭД) на СИ указывают пределы нормальной области значений влияющих величин, выходить за которые при выполнении измерений не допускается из-за возникновения дополнительной погрешности СИ. Рекомендуется выделить (определить) рабочее пространство, действием влияющих величин внутри которого можно пренебречь.

По госту 8.050 – 73 “Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений” и ГОСТу 8.395 - 80 “Нормальные условия измерений при поверке” предусмотрены пределы нормальной области значений влияющих величин, которые устанавливаются в зависимости от допусков и диапазона измеряемых размеров.

СИ влияющих величин выбирают такими, чтобы их погрешность не превышала 30 % от допустимых изменений влияющих величин.

Установление числа наблюдений при измерениях. Не следует отождествлять понятия "измерение" с "наблюдением при измерении" - экспериментальной операцией, выполняемой в процессе измерений, в результате которого получают одно значение величины (отсчета) - результата наблюдения, подлежащеего обработке для получения результата измерения. Система этих понятий необходима для однозначного изложения измерительных процедур.

## Таблица 3.2

# Номинальные значения влияющих физических величин

|  |  |
| --- | --- |
| Влияющая величина | Номинальное значение величины |
| Температура для всех видов измерений | 293 К (20оС) |
| Давление окружающего воздуха для измерения ионизирующих излучений, теплофизических, температурных, магнитных, электрических, давлений, параметров движения | 100 кПа  (750 мм рт.ст.) |
| То же для остальных видов измерений | 101,3 кПа  (760 мм рт. ст.) |
| Относительная влажность воздуха для измерений: линейных, угловых, массы и спектроскопии | 58 % |
| То же для измерений электрического сопротивления | 55 % |
| То же для измерений температуры, силы, твердости, переменного электрического тока, ионизирующих излучений, параметров движения | 65 % |
| То же, для остальных видов измерений | 60 % |
| Плотность воздуха | 1,2 кг/м3 |
| Ускорение свободного падения | 9,8 м/с2 |
| Магнитная индукция (например, магнитного поля) и напряженность электростатического поля для измерений параметров движения, магнитных и электрических величин | 0 |
| То же для остальных видов измерений | Соответствует характеристикам поля Земли в данном районе |

Различают измерения с однократными и многократными наблюдениями. Наиболее распространены (в производстве) измерения с однократными наблюдениями.

Случайную погрешность считают пренебрежимо малой по сравнению с неисключенным остатком систематической погрешности (НСП), если Θ/S(x) > 8, где Θ - граница НСП результата измерения: S(x) – среднее квадратическое отклонение (СКО) отдельных наблюдений.

Иногда для повышения надежности таких измерений (исключения промахов) делают все-таки два или три наблюдения, и за результат измерения принимают среднее арифметическое значение результатов этих наблюдений.

Измерение с числом наблюдений n ≥ 4 относят (условно) к измерениям с многократными наблюдениями и выполняют статистическую обработку ряда результатов наблюдений для получения информации о результате измерений и о случайной составляющей погрешности этого результата. При увеличении n СКО случайной погрешности результата измерений уменьшается по закону обратной пропорциональности . Этим руководствуются при выборе n для разумного уменьшения , например, по сравнению с НСП результата измерений Θ, не зависящей от n (до выполнения условия Θ/≥ 8, дальнейшее увеличение n не имеет смысла). Как правило, выбор числа наблюдений производится при разработке МВИ. Определение количества измерений приведено в п .3.5.4.



Учет систематических погрешностей и способы их уменьшения. Систематические погрешности, как правило, не проявляются при выполнении наблюдений и вычислении результатов измерений, но способны существенно исказить эти результаты.

При разработке СИ и МВИ, т.е. еще до начала измерений систематические погрешности более или менее полно исключаются (например, введением аддитивных и мультипликативных поправок). Поэтому при выполнении наблюдений и оценке результатов измерений имеют дело с неисключенными остатками систематических погрешностей - НСП. Систематическую погрешность в данном разделе необходимо понимать именно как неисключенную систематическую погрешность (НСП).

Для обнаружения НСП рекомендуется: провести измерение другим, максимально отличным от использованного, методом и сравнить результаты; резко изменить условия наблюдений (использовать другие экземпляры СИ, сменить оператора, изменить время наблюдений, например, провести их в ночное время, когда выключено технологическое оборудование) ; провести контрольное измерение в лаборатории другой организации или в метрологическом учереждении, в которых имеются более точные СИ и МВИ; выполнить теоретическую (расчетную) оценку НСП с привлечением имеющихся априорных знаний об объекте измерений, более точных или других моделях объекта измерений, методе и СИ.

Для уменьшения (исключения) НСП в ходе выполнения измерений применяются следующие методы (приемы):

1. Метод замещения. Его суть - замена измеряемой величины известной (мерой), притом так, чтобы в состоянии и действии всех используемых СИ не происходило никаких изменений.

2. Метод противопоставления. Измерение выполняется с двумя наблюдениями, проводимыми так, чтобы причина НСП оказывала разные, но известные по закономерности воздействия на результаты наблюдений.

3. Метод компенсации погрешности по знаку предусматривает измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы НСП входила в результат каждого из них с разными знаками.

4. Метод рандомизации (перевода систематической погрешности в случайную) заключается в такой организации измерений, при которой фактор, вызывающий НСП, при каждом наблюдении действует по-разному.

5. Метод симметричных наблюдений применяется для устранения прогрессирующих систематических погрешностей, линейно меняющихся пропорционально времени. Используют следующее свойство любых двух наблюдений, симметричных относительно средней точки интервала наблюдений: среднее значение линейно прогрессирующей погрешности результатов любой пары симметричных наблюдений равно погрешности, соответствующей средней точке интервала. Ряд наблюдений выполняют через равные промежутки времени и вычисляют средние арифметические значения результатов симметрично расположенных наблюдений (симметрично относительно среднего по времени наблюдения). Как было сказано, они должны быть равны. Это дает возможность контролировать в ходе измерения, соблюдается ли условие линейности возрастания систематической погрешности.

Описанные методы (приемы) должны учитываться при разработке МВИ.

**3.6.2. Обработка результатов наблюдений и оценивание погрешностей измерений [4]**

Оценку погрешности результата измерения выполняют при разработке МВИ. Источниками погрешностей являются модель ОИ, метод измерения, СИ, оператор, вляющие факторы условий измерений, алгоритм обработки результатов наблюдений. Как правило, погрешность результата измерения оценивается при доверительной вероятнйсти Р = 0,95.

При выборе значения Р необходимо учитывать степень важности (ответственности) результата измерений. Например, если ошибка в измерении может привести к гибели людей или к тяжелым экологическим последствиям, значение Р должно быть увеличено.

1. Измерения с однократными наблюдениями. За результат измерения в этом случае принимают результат однократного наблюдения х (с введением поправки, если она имеется), используя предварительно полученные (например, при разработке МВИ) данные об источниках, составляющих погрешность.

Доверительные границы НСП результата измерения Θ(P) вычисляют по формуле

, (3.3)



где k(P) - коэффициент, определяемый принятой Р и числом m1 составляющих НСП: Θ(P) - найденные нестатистическими методами границы

j-ой составляющей НСП (границы интервала, внутри которого находится эта составляющая, определяемые при отсутствии сведений о вероятности ее нахождения в этом интервале). При Р = 0,90 и 0,95 k(P) равен 0,95 и 1,1, соответственно при любом числе слагаемых m1. При Р = 0,99 значения k(P) следующие (табл. 3.3):

Таблица 3.3

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| m1 | k(P) | m1 | k(P) |
| 5 и более | 1,45 | 3 | 1,30 |
| 4 | 1,40 | 2 | 1,20 |

Если составляющие НСП распределены равномерно и заданы доверительными границами Θ(P), то доверительную границу НСП результата измерения вычисляют по формуле

, (3.4)



где k и kj - те же, что и в предыдущем случае, коэффициенты, соответствующие доверительной вероятности Р и Рj соответственно; m1 - число составляющих НСП.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) результата измерения с однократным наблюдением вычисляют одним из следующих способов:

1. Если в технической документации на СИ или в МВИ указаны нормально распределенные составляющие случайной погрешности результата наблюдения (инструментальная, методическая, из-за влияющих факторов, оператора и т.д.), то СКО вычисляют по формуле

,



где m2 - число составляющих случайной погрешности; Si - значения СКО этих составляющих.

Доверительную границу случайной погрешности результата измеренияя ∈(Р) в этом случае вычисляют по формуле

, (3.5)



где zP/2 - значение нормированной функции Лапласа в точке Р/2 при доверительной вероятности Р (табл. 3.4):

## Таблица 3.4

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Р | zP/2 | Р | zP/2 |
| 0,90 | 1,65 | 0,97 | 2,17 |
| 0,95 | 1,96 | 0,98 | 2,33 |
| 0,96 | 2,06 | 0,99 | 2,58 |

2. Если в тех же документах случайные составляющие погрешности результата наблюдения представлены доверительными границами ∈i(P) при одной и той же доверительной вероятности P, то доверительную границу случайной погрешности результата измерения с однократным наблюдением при доверительной вероятности вычисляют по формуле

.



3. Если случайные составляющие погрешности результата наблюдения определяют предварительно в реальных рабочих условиях экспериментальными методами при числе наблюденийи ni <30, то:

,



где t - коэффициент Стьюдента, соответствующий наименьшему числу наблюдений nmin из всех ni, можно найти в [4] или в любом справочнике по теории вероятностей; S(x) - оценки СКО случайных составляющих погрешности результата наблюдения, определяемых по формуле (3.10). Если в эксперименте невозможно или нецелесообразно определить СКО составляющих случайной погрешности и определено сразу суммарное СКО, то в формуле (3.5) m2 = 1.

4. Если случайные составляющие погрешности результата наблюдений представлены доверительными границами ∈(Pi), соответствующими разным вероятностям Рi, то сначала определяют СКО результата измерения с однократным наблюдением по формуле

,



где zPi/2 - значения функции Лапласа. Затем вычисляют ∈(P) по формуле (3.4).

Для суммирования систематической и случайной составляющих погрешностей рекомендуется следующий способ:

Если Θ(P)/S(x) < 0,8, (3.6)

то НСП Θ(P) пренебрегают и окончательно принимают ∈(P) за погрешность результата измерения Δ(P) при доверительной вероятности Р.

# Если Θ(P)/S(x) > 0,8, (3.7)

# то пренебрегают случайной погрешностью и принимают Δ(P) = Θ(P).

Если 0,8 ≤ Θ(P)/S(x) ≤ 8, то доверительную границу погрешности результата измерений вычисляют по формуле

, (3.8)



где KΣ(γ) = ; .



2. Измерения с многократными наблюдениями. Обработку результатов в этом случае рекомендуется начать с проверки на отсутствие промахов (грубых погрешностей). Промах — это результат xп отдельного наблюдения, входящего в ряд из n наблюдений, который для данных условий измерений резко отличается от остальных результатов этого ряда. Если оператор в ходе измерения обнаруживает такой результат и достоверно находит его причину, он вправе его отбросить и провести (при необходимости) дополнительное наблюдение взамен отброшенного.

При обработке уже имеющихся результатов наблюдений произвольно отбрасывать отдельные результаты нельзя, так как это может привести к фиктивному повышению точности результата измерения. Поэтому применяют следующую процедуру. Вычисляют среднее арифметическое результатов наблюдений хi по формуле



. (3.9)



Затем вычисляют оценку СКО результата наблюдения как

. (3.10)



Находят отклонение vп предполагаемого промаха xп от :



vп = | xп - | .



По числу всех наблюдений n (включая xп) и принятому для измерения значению Р (обычно 0,95) по [4] или любому справочнику по теории вероятностей находят z(P,n) — нормированное выборочное отклонение нормального распределения. Если vп < z⋅S(x), то наблюдение xп не является промахом; если vп ≥ z⋅S(x), то xп — промах, подлежащий исключению. После исключения xп повторяют процедуру определения и S(x) для оставшегося ряда результатов наблюдений и проверки на промах наибольшего из оставшегося ряда отклонений от нового значениям (вычисленного исходя из n - 1).



За результат измерения принимают среднее арифметическое [см. формулу (3.9)] результатов наблюдений хi. Погрешность содержит случайную и систематическую составляющие. Случайную составляющую, характеризуемую СКО результата измерения, оценивают по формуле



.



В предположении принадлежности результатов наблюдений хi к нормальному распределению находят доверительные границы случайной погрешности результата измерения при доверительной вероятности Р по формуле ∈(P) = t(P,n) ⋅ S() , (3.11)



где t - коэффициент Стьюдента.

Доверительные границы Θ(Р) НСП результата измерения с многократными наблюдениями определяют точно так же, как и при измерении с однократным наблюдением — по формулам (3.3) или (3.4).

Суммирование систематической и случайной составляющих погрешности результата измерения при вычислении Δ(Р) рекомендуется осуществлять с использованием критериев и формул (3.6 – 3.8), в которых при этом S(x) заменяется на S() = S(x)/ .



3. Косвенные измерения. Значение измеряемой величины А находят по результатам измерений аргументов а1, . . . , аi,…am, связанных с искомой величиной уравнением

f(a1,….ai….am). (3.12)



Вид функции f определяется при установлении модели ОИ.

Косвенное измерение при линейной зависимости. Искомая величина А связана с m измеряемыми аргументами уравнением

,



где bi - постоянные коэффициенты.

Предполагается, что корреляция между погрешностями измерений ai отсутствует. Результат измерения А вычисляют по формуле

,



где — результат измерения ai с введенными поправками. Оценку СКО результата измерения S(A) вычисляют но формуле



,



где — оценка СКО результата измерений .



Доверительные границы ∈(Р) случайной погрешности при нормальном распределении погрешностей



, (3.13)



где t(P,nэф) — коэффициент Стьюдента, соответствующий доверительной вероятности Р (обычно 0,95, в исключительных случаях 0,99) и эффективному числу наблюдений nэф , вычисляемому по формуле

,



где ni —число наблюдений при измерении аi.

Доверительные границы Θ(Р) НСП результата такого измерения, сумму Θ(Р) и ∈(Р) для получения окончательного значения Δ(Р) рекомендуется вычислять с использованием критериев и формул (3.3), (3.4), (3.6) — (3.8), в которых m1, Θi, и S(x) заменяются, соответственно, на m, bi⋅Θi, и S().



Косвенные измерения при нелинейной зависимости. При некоррелированных погрешностях измерений аi используется метод линеаризации путем разложения функции f(а1, . . . , am) в ряд Тейлора, то есть

f(а1, . . . , am) = ,



где — отклонение отдельного результата наблюдения аi от ; R — остаточный член.



Метод линеаризации допустим, если приращение функции f можно заменить ее полным дифференциалом. Остаточным членом

пренебрегают, если ,



где — оценка СКО случайных погрешностей результата измерения . При этом отклонения Δ должны быть взяты из возможных значений погрешностей и такими, чтобы они максимизировали R.



Результат измерения вычисляют по формуле = f(.



Оценку СКО случайной составляющей погрешности результата такого косвенного измерения S() вычисляют по формуле



,



а ∈(Р) — по формуле (3.13). Значение nэф , границы НСП Θ(Р) и погрешность Δ(Р) результата косвенного измерения при нелинейной зависимости вычисляют так же, как и при линейной зависимости, но с заменой коэффициентов bi на ∂f/∂ai

Метод приведения (для косвенных измерений с нелинейной зависимостью) применяется при неизвестных распределениях погрешностей измерений ai и при корреляции между погрешностями ai для получения результата косвенного измерения и определения его погрешности. При этом предполагается наличие ряда n результатов наблюдений aij измеряемых аргументов аi. Сочетания aij, полученных в j-м эксперименте подставляют в формулу (3.12) и вычисляют ряд значений Aj измеряемой величины А. Результат измерения вычисляют по формуле .



Оценку СКО S() - случайной составляющей погрешности - вычисляют по формуле



,



а ∈(Р) —по формуле (3.11). Границы НСП Θ(Р) и погрешность Δ(Р) результата измерения определяют описанными выше способами для нелинейной зависимости.



**3.6.3. Выбор измерительных средств по допустимой погрешности измерения**

При выборе измерительных средств и методов контроля изделий учитывают совокупность метрологических, эксплуатационных и экономических показателей. К метрологическим показателям относятся: допустимая погрешность измерительного прибора-инструмента; цена деления шкалы; порог чувствительности; пределы измерения и др. К эксплуатационным и экономическим показате­лям относятся: стоимость и надежность измерительных средств; продолжительность работы (до ремонта); время, затрачиваемое на настройку и процесс измерения; масса, габаритные размеры и рабочая нагрузка.

3.6.3.1. Выбор измерительных средств для контроля размеров

На рис. 3.3 показаны кривые распределения размеров деталей (утех) и погрешностей измерения (умет) с центрами, совпадающими с границами допуска. В результате наложения кривых умет и утех происходит искажение кривой распределения у(σтех, σмет), появляются области вероятностей т и п, обусловливающие выход размера за границу допуска на величину с. Таким образом, чем точнее технологический процесс (меньше отношение ΙΤ/Δмет), тем меньше неправильно принятых деталей по сравнению с неправильно забракованными.

Решающим фактором является допускаемая погрешность измерительного средства, что вытекает из стандартизованного определения действительного размера как и размера, получаемого в результате измерения с допустимой погрешностью.

Допускаемые погрешности измерения δизм при приёмочном контроле на линейные размеры до 500 мм устанавливаются ГОСТом 8.051, которые составляют 35-20% от допуска на изготовление детали IT. По этому стандарту предусмотрены наибольшие допускаемые погрешности измерения, включающие погрешности от средств измерений, установочных мер, температурных деформаций, измерительного усилия, базирования детали. Допускаемая погрешность измерения δизм состоит из случайной и неучтённой систематической составляющих погрешности. При этом случайная составляющая погрешности принимается равной 2σ и не должна превышать 0,6 от погрешности измерения δизм .

В ГОСТе 8.051 погрешность задана для однократного наблюдения. Случайная составляющая погрешности может быть значительно уменьшена за счёт многократных наблюдений, при которых она уменьшается в раз, где n - число наблюдений. При этом за действительный размер принимается среднеарифметическое из серии проведённых наблюдений.



При арбитражной перепроверке деталей погрешность измерения не должна превышать 30% предела погрешности, допускаемой при приёмке.

Значения допустимой погрешности измерения δизм на угловые размеры установлены по ГОСТу 8.050 - 73.

Для определения т с другой доверительной вероятностью необходимо сместить начало координат по оси ординат.

Кривые графиков (сплошные и пунктирные) соответствуют определенному значению относительной погрешности измерения, равной

,



где σ — среднее квадратическое отклонение погрешности измерения;

IТ—допуск контролируемого размера.

При определении параметров т, п и с рекомендуется принимать

Амет(σ ) = 16 % для квалитетов 2—7, Амет(σ ) =12 % - для квалитетов 8, 9,

Амет(σ ) =10 % - для квалитетов 10 и грубее.

Параметры т, п и с приведены на графиках в зависимости от значения IT/σтех , где σтех — среднее квадратическое отклонение погрешности изготовления. Параметры m, n и с даны при симметричном расположении поля допуска относительно центра группирования контролируемых деталей. Для определяется m, n и с при совместном влиянии систематической и случайной погрешностей изготовления пользуются теми же графиками, но вместо значения IT/σтех принимается

для одной границы ,



а для другой - ,



где αТ — систематическая погрешность изготовления.

При определении параметров m и n для каждой границы берется половина получаемых значений.

Возможные предельные значения параметров т, п и с/IТ, соответствующие экстремальным значениям кривых (на рис. 3.4 – 3.6), приведены в табл.3.5.

## Таблица 3.5

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Aмет(σ) | m | n | c/IT | Aмет(σ) | m | n | c/IT |
| 1,60 | 0,37-0,39 | 0,70-0,75 | 0,01 | 10,0 | 3,10-3,50 | 4,50-4,75 | 0,14 |
| 3,0 | 0,87-0,90 | 1,20—1,30 | 0,03 | 12,0 | 3,75-4,11 | 5,40-5,80 | 0,17 |
| 5,0 | 1,60-1,70 | 2,00-2,25 | 0,06 | 16,0 | 5,00-5,40 | 7,80-8,25 | 0,25 |
| 8,0 | 2,60-2,80 | 3,40-3,70 | 0,10 |  |  |  |  |

Первые значения т и п соответствуют распределению погрешностей измерения по нормальному закону, вторые — по закону равной вероятности.

Предельные значения параметров т, п и с/IТ учитывают влияние только случайной составляющей погрешности измерения.

ГОСТ 8.051—81 предусматривает два способа установления приемочных границ.

Первый способ. Приемочные границы устанавливают совпадающими с предельными размерами (рис. 3.7, а).

Пример. При проектировании вала диаметром 100 мм оценено, что отклонения его размеров для условий эксплуатации должны соответствовать h6(100-0,022). В соответствии с ГОСТом 8.051 - 81 устанавливают, что для размера вала 100 мм и допуска IТ=0,022 мм допускаемая погрешность измерения δизм = 0,006 мм.

В соответствии с табл. 3.5 устанавливают, что для Aмет(σ) = 16% и неизвестной точности технологического процесса m = 5,0 и с = 0,25IТ, т. е. среди годных деталей может оказаться до 5,0 % неправильно принятых деталей с предельными отклонениями +0,0055 и -0,0275 мм.

δизм/2 с

IT

+δизм

-δизм

+δизм

-δизм

+δизм

-δизм

+δизм

-δизм

+δизм

-δизм

+δизм

-δизм

Приемочные границы

а) б) в)

Рис.3.7. Варианты расположения приемочных границ по отношению к полю допуска

Если полученные данные не повлияют на эксплуатационные показатели вала, то на чертежах указывают первоначально выбранный квалитет. В противном случае назначают более точный квалитет или другое поле допуска в этом квалитете.

Второй способ. Приемочные границы смещают внутрь относительно предельных размеров.

При введении производственного допуска могут быть два варианта в зависимости от того, известна или неизвестна точность технологического процесса.

Вариант 1. При назначении предельных размеров точность технологического процесса неизвестна. В соответствии с ГОСТом 8.051—81 предельные размеры изменяются на половину допускаемой погрешности измерения (рис. 3.7, б). Для примера, рассмотренного выше, диаметр .



Вариант 2. При назначении предельных размеров точность технологического процесса известна. В этом случае предельные размеры уменьшают на значение параметра с (рис. 3.7, в).

Предположим, что для рассмотренного выше примера IТ/σтех = 4 (при изготовлении имеется 4,5% брака по обеим границам): Aмет(σ) = 16%, с/IT = 0,1; c = 0,0022 мм.

С учетом данных диаметр вала принимают .



**3.6.3.2. Выбор изметительных средств для других параметров [27]**

Выбор измерительного средства определяется допуском на измерение, который зависит от допуска на конролируемый параметр. При отсутствии рекомендаций в НТД допуск на измерение принимают

δизм = 0,33Т , (3.14)

где Т – допуск на контролируемый параметр.

Например, для измерения отклонений формы и расположения допустимую абсолютную погрешность измерения искомого средства измерения определяют по выражению

, (3.15)



где δизм - абсолютная погрешность измерения точности формы или расположения, которая не должны быть больше 0,33Тф (здесь Тф - заданный допуск формы или расположения);

Δi - абсолютные погрешности n звеньев измерительного канала.

Приведенная погрешность средства измерения определяется как

,



где XN - нормирующий параметр, в качестве которого может служить диапазон измерений выбранного средства измерения.

Пример. Выбрать средство измерений для контроля отклонения от круглости вала 86h9(-0,087) c допуском круглости 0,025 мм. Измеряемую деталь 6 (рис. 3.8) устанавливают в призму 2 с углом раскрытия α и ощупывают наконечником измерительной головки 3, закрепленной в стойке 4, в направлении биссектрисы угла призмы. Измерительной головкой 5, тип которой необходимо выбрать, фиксируют максимальное изменение показаний ΔА за один оборот контролируемой детали 6. При этом отклонение от круглости определяют как Δкр = ΔА/Fп, где Fп – коэффициент, зависящий от количества неровностей на периметре контролируемой детали и угла раскрытия призмы (Fп - величина табулированная).

Таким образом, для регистрации допуска круглости, равного 25 мкм, должно быть выбрано измерительное средство, имеющее погрешность не более 3,5 мкм. Такими средствами могут быть головки рычажно-зубчатые типа 1ИТ с ценой деления 0,001 и 0,002 мм и пределом измерения ±0,050 мм с настройкой по концевым мерам длины. Предельная погрешность измерения рычажно-зубчатыми головками для диапазона размеров 80 - 120 мм не превышает 2,5 мкм.

Исходными данными для выбора средств теплофизических измерений являются указанные в конструкторской (технологической) документации наименьшие и наибольшие размеры физической величины или допуск (например, задание условий: "температура стенки может изменяться в диапазоне от +400 до +800 Со или "давление в трубопроводе не должно превышать 15+0,2 МПа").

Допуск относительно номинального размера может располагаться односторонне, симметрично и асимметрично. Его расположение относительно номинального размера на выбор СИ не влияет. Действительные размеры измеряемой величины могут изменяться по различному закону.

В соответствии с исходными данными определяют допускаемые знания основной абсолютной, относительной или приведенной погрешностей средства измерения (или измерительной системы); назначают требования к габаритным размерам, массе, соединительным элементам, особенностям конструкции данного средства измерения; рассчитывают значения нижнего и верхнего пределов (диапазона) рабочей шкалы средства измерений.

Примечание. Основной называют погрешность средства измерения, используемого в нормальных условиях. Приведенной погрешностью измерительного прибора называют отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению

, где в качестве ХN может быть выбран предел или диапазон измерения, длина шкалы. Относительная погрешность прибора определяется зависимостью



, где Хд – действительное значение измеряемой величины.



Допуск на измерение необходимо принимать по формуле (3.14).

Нижний предел рабочей части шкалы (диапазона) средства измерения (измерительной системы)

Нди < Пmin - δизм ,

##### где Нди – значение нижнего предела рабочей части шкалы (диапазона);

##### Пmin - наименьшее значение измеряемой величины.

##### Верхний предел рабочей части величины

Вди > Пmax + δизм ,

где Пmax - наибольшее предельное значение измеряемой величины.

Выбор пределов (Нди и Вди) рабочей части шкалы средства измерения вызван необходимостью исключить возможное внесение в результаты измерения ошибок в случае, когда истинные значения измеряемой величины близки к граничным значениям рабочей части шкалы.

Предварительный выбор средства измерения производят по расчетным значениям допустимой погрешности измерения δизм, относительной δ и основной приведенной γ погрешностей прибора, а окончательный - с учетом области значений влияющих величин, габаритных размеров, массы, стоимости, особенностей эксплуатации, электромагнитной совместимости с окружающей средой и др.

Для проведения измерений в условиях, когда значения влияющих величин отличаются от установленных в нормативных документах на средства измерения конкретного вида, необходимо нормировать функции влияния, т.е. указывать зависимости показаний средств измерений от влияющих параметров и на основе этого вносить поправки в показания средства измерения или применять корректирующие устройства.

Примеры выбора средств изменений

Пример 1. Определить верхний предел измерения и основную приведенную погрешность датчика для измерения тяги газотурбинного двигателя (ГТД) Р = (1,6±0,1) кН.

Решение. Наибольшая и наименьшая предельные тяги Рmax = 1,6 + 0,1 = 1,7 кН; Рmin =1,6 – 0,1 = 1,5 кН; допуск Т = 1,7 – 1,5 = 0,2 кН; основная допустимая абсолютная погрешность датчика (допуск на измерение) δизм = 0,33Т = 0,33⋅0,2 = 0,066 кН; нижний предел рабочей части шкалы Нди < 1,5 - 0,066 = 1,434 кН; верхний предел рабочей части шкалы Вди > 1,7 + 0,066 = 1.766 кН.

Выбираем датчик усилий с верхним пределом измерения Вди = 2 кН.

Нормирующее значение для определения основной приведенной погрешности датчика принимаем ХN.= 2,0 кН.

Определяем предел допускаемой основной приведенной погрешности датчика . Ближайшим меньшим значением этой погрешности по отношению к найденному является γ = 2%.



Пример 2. Определить основную приведенную погрешность и пределы измерения виброакселерометра для измерения виброускорения а = 50±2 м/с2.

Решение. Наибольшее предельное значение виброускорения аmax = 50 + 2 = 52 м/c2; наименьшее его значение аmin = 50 –2 = 48 м/c2; допуск Т = 52 – 48 = 4 м/с2; основная допустимая абсолютная погрешность виброакселерометра (допуск на измерение) δизм = 0,33Т = 0,33⋅4 = 1,32 м/с2; нижний предел рабочей части шкалы Нди < 48 – 1,32 = 46,68 м/с2; верхний предел Вди > 52 + 1,32 = 53,32 м/с2.

В соответствии с данными по Нди и Вди выбираем виброакселерометр с верхним пределом измерения 100м/с2.

Основная приведенная погрешность этого прибора .



Измерительный преобразователь прибора для измерения ускорения ударного импульса должен выбираться с учетом соотношения , где fp – указанная в паспорте на прибор резонансная частота измерительного преобразователя, Гц; τи – длительность измеряемого ударного импульса, с.



Пример 3. Определить пределы измерения и класс точности вольтметра для измерения напряжения питания бортовой сети самолета V =27±2,7 В.

Решение. Наибольшее предельное напряжение Vmax = 27 + 2,7 = 29,7 В; наименьшее Vmin = 27 – 2,7 = 24,3 В; допуск Т = 29,7 – 24,3 = 5,4 В; основная допустимая абсолютная погрешность вольтметра (допуск на измерение) δизм = 0,33Т = 0,33⋅5,4 = 1,78 В; нижний предел рабочей части шкалы Нди < 24,3 – 1,78 = 22,52 В; верхний предел Вди > 27,9 + 1,78 = 31,48 В.

В соответствии с данными по Нди и Вди выбираем вольтметр с верхним пределом измерения 40 В.

Основная приведенная погрешность этого прибора .



Найденному значению γ соответствует класс точности 5.

**3.7. Обеспечение единства измерений**

Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ) - комплекс установленных стандартами взаимоувязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений.

**3.7.1. Единство измерений**

Единство измерений - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Правовой основой обеспечения единства измерений служит законодательная метрология, которая представляет собой свод государственных актов и нормативно-технических документов различного уровня, регламентирующих метрологические правила, требования и нормы.

Технической основой ГСИ являются:

1. Система (совокупность) государственных эталонов единиц и шкал физических величин - эталонная база страны.

2. Система передачи размеров единиц и шкал физических величин от эталонов ко всем СИ с помощью эталонов и других средств поверки.

3. Система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих СИ, обеспечивающих исследования, разработки, определение с требуемой точностью характеристик продукции, технологических процессов и других объектов.

4. Система государственных испытаний СИ (утверждение типа СИ), предназначенных для серийного или массового производства и ввоза из-за границы партиями.

5. Система государственной и ведомственной метрологической аттестации, поверки и калибровки СИ.

6. Система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов.

7. Система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Различают децентрализованное и централизованное воспроизведение единиц.

При децентрализованном единицы воспроизводятся там, где выпол-няются измерения (м2 и др. производные физические величины).

# При централизованном информация о единицах передаётся с места их централизованного хранения и воспроизведения. Оно осуществляется с помощью специальных технических средств, называемых эталонами.

# Основные единицы (секунда, метр, килограмм, кельвин, кандела, ампер и моль) воспроизводятся только централизованно.

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

От эталона единица величины передается разрядным эталонам, а от них – рабочим средствам измерений.

Эталоны классифицируют на первичные, вторичные и рабочие.

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

Государственный эталон единицы величины - эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Важнейшая задача деятельности МБМВ состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий разных стран с международными эталонами, а также и между собой, что необходимо для обеспечения достоверности, точности и единства измерений как одного из условий международных экономических связей. Сличению подлежат как эталоны основных величин системы SI, так и производных. Установлены определенные периоды сличения. Например, эталоны метра и килограмма сличают каждые 25 лет, а электрические и световые эталоны - один раз в 3 года.

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

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

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

Каждый эталон состоит из воспроизводящей части и приспособлений или устройств, обеспечивающих съём и передачу информации о размере единицы.

Стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов – это образцы веществ и материалов, химический состав или физические свойства которых типичны для данной группы веществ (материалов), определены с необходимой точностью, отличаются высоким постоянством и удостоверены сертификатом. Они играют важную роль в обеспечении единства измерений.

Стандартные образцы используются для градуировки, поверки и калибровки химического состава и различных свойств материалов (механических, теплофизических, оптических и др.). Они могут применяться непосредственно для контроля качества сырья и промышленной продукции путем сличения. По существу стандартные образцы служат для поддержания единства измерений, т.е. являются средствами измерений.

Стандартные образцы подвергаются специальным испытаниям, по результатам которых они получают свидетельства (сертификат) и вносятся в государственный реестр стандартных образцов, а он, в свою очередь, является составной частью (разделом) Государственного реестра средств измерений.

Образцы состава и образцы свойств в зависимости от уровня утверж-дения подразделяются на: государственные, отраслевые и предприятий.

В России действует Государственная служба стандартных образцов (ГССО) в составе НПО ВНИИМ им Д.И. Менделеева.

Передача информации о размерах единиц. Правильность и точность заложенной в средства измерений информации о размере единиц устанавливается при утверждении типа средств измерений. Сохранность этой информации контролируется при первичной и всех последующих поверках средств измерений.

Использование для градуировки, аттестации и поверки средств измерений непосредственно государственных эталонов не допускается. Эти эталоны являются национальным достоянием, ценностями особой государственной важности.

По государственным эталонам устанавливаются значения физических величин вторичных эталонов. Среди вторичных эталонов различают: эталоны-свидетели, предназначенные для проверки сохранности государственного эталона и замены его в случае порчи или утраты; эталоны сравнения, применяемые для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом; эталоны-копии, используемые для передачи информации о размере рабочим эталонам.

На рис. 3.9 приведён один из вариантов схемы передачи информации о размере единицы от государственного эталона к средствам измерений, из которой видно, что от вторичных эталонов информацию о размере единицы получают нижестоящие эталоны (1-го, 2-го, 3-го и 4-го разрядов) и рабочие средства измерений.

Не допускается использование рабочих средств измерений для передачи информации о размере единицы другим средствам измерений.

**Рабочие средства измерений**

Государственный эталон

### Эталон-копия

Эталон 1-го разряда

**Метод передачи**

**Метод передачи**

**Метод передачи**

**Метод передачи**

**Метод передачи**

Эталон 2-го разряда

**Метод передачи**

Эталон 3-го разряда

**Метод передачи**

Эталон 4-го разряда

**Метод передачи**

Низшей точности

**Метод передачи**

Наивысшей точности

**Метод передачи**

Высокой точности

**Рабочие эталоны**

**Рис. 3.9. Общий вид государственной поверочной схемы**

# **Метод передачи**

Высшей точности

**Метод передачи**

Средней точности

**Метод передачи**

Эталон сравнения

## **Вторичные**

**эталоны**

**Первичный эталон**

Количество ступеней от рабочего эталона до средства измерений зависит от требуемой точности передачи размера единицы и особенностей данной единицы. Известно, что на каждой ступени передачи информации точность теряется в 3 - 5 раз (иногда в 1,25 - 10 раз).

Таким образом, при многоступенчатой передаче эталонная точность не доходит до потребителя. Поэтому для высокоточных средств измерений число ступеней может быть сокращено вплоть до передачи им информации о размере единицы непосредственно от эталона-копии.

**3.7.2. Поверка средств измерений**

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

Средства измерений, подлежащие метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при продаже и выдаче на прокат, а также при эксплуатации.

Правилами ПР 50.2.006-94 "ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения" установлено, что поверку средств измерений осуществляют органы государственной метрологической службы (ГМС), государственные научные метрологические центры (ГНМЦ), а также аккредитованные метрологические службы юридических лиц.

Поверка проводится физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя в соответствии с правилами ПР 50.2.012-94 "ГСИ. Порядок аттестации поверителей средств измерений", по нормативным документам, утверждаемым по результатам испытаний с целью утверждения типа. Если средство измерений по результатам поверки признано пригодным к применению, то на него и (или) техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма и (или) выдается "Свидетельство о поверке". Если по результатам поверки средство измерений признано не пригодным к применению, оттиск поверительного клейма и (или) "Свидетельство о поверке" аннулируются и выписывается "Извещение о непригодности" или делается соответствующая запись в технической документации.

Существуют следующие виды поверок:

Первичная поверка - проводится для средств измерений утвержденных типов при выпуске их из производства, после ремонта, при ввозе из-за границы. При утверждении типа средств измерений единичного производства на каждое из них оформляется сертификат об утверждении типа; первичную поверку данные средства измерений не проходят.

Периодическая поверка проводится для средств измерений, находящихся в эксплуатации, через определённые межповерочные интервалы. Необходимость поверки обусловлена возможностью утраты измерительным средством метрологических показателей из-за временных и других воздействий.

Периодичность поверки зависит от временной нестабильности метрологических характеристик (метрологической надёжности), интенсивности эксплуатации и важности результатов, получаемых с помощью средств измерений.

Существуют рекомендация ВНИИМС – МИ2273-93 "ГСИ. Области использования средств измерений, подлежащих поверке", согласно которой первый межповерочный интервал устанавливается при утверждении типа. Корректировка межповерочных интервалов с учетом специфики применения средств измерений производится в соответствии с методическими материалами МИ 1872-88 "ГСИ. Межповерочные интервалы образцовых средств измерений. Методика определения и корректировки", а также МИ 218-92 "ГСИ. Межповерочные и межкалибровочные интервалы средств измерений. Методика определения".

Внеочередная поверка проводится: при необходимости подтверждения пригодности средства измерений к применению; в случае применения средства измерений, в качестве комплектующего по истечении половины межповерочного интервала; в случае повреждения клейма или утери свидетельства о поверке; при вводе в эксплуатацию после длительной консервации (более одного межповерочного интервала); при отправке средств измерений потребителю после истечения половины межповерочного интервала.

Экспертная поверка проводится при возникновении разногласий по вопросам, относящимся к метрологическим характеристикам, исправности средств измерений и пригодности их к применению.

Инспекционная поверка выполняется в рамках государственного надзора или ведомственного контроля, для контроля качества первичных или периодических поверок и определения пригодности средств измерений к применению.

**3.7.3. Калибровка средств измерений**

В настоящее время в Российской Федерации с переходом к рынку возникла необходимость поиска новых форм организации метрологической деятельности, которые соответствовали бы рыночным отношениям в экономике. Одной из таких форм является организация Российской системы калибровки (РСК), схема которой приведена на рис. 3.10.

Госстандарт России

Центральный орган РСК

Научно- методичес

кий центр РСК

Регистрация органов аккредитации

Совет РСК

Аккредитующие органы (государственные научные метрологические центры, органы Государственной метрологической службы)

### Аккредитация

Метрологические службы юридических лиц, аккредитованные на право проведения калибровочных работ

### Аккредитация

### Средства измерений

# **Рис. 3.10. Схема Российской службы калибровки**

Контроль средств измерений на предмет их пригодности к применению в мировой практике осуществляется двумя основными видами: поверкой и калибровкой.

Калибровка средства измерений - это совокупность операций, выполняемых калибровочной лабораторией с целью определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности средства измерений к применению в сферах, не подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору в соответствии с установленными требованиями.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком, наносимым на средства измерений, или сертификатом о калибровке, а также записью в эксплуатационных документах.

Поверку (обязательная госповерка) может выполнять, как правило, орган государственной метрологической службы, а калибровку - любая аккредитованная и неаккредитованная организация.

Поверка обязательна для средств измерений, применяемых в сферах, подлежащих Государственному метрологическому контролю (ГМК), калибровка же - процедура добровольная, поскольку относится к средствам измерений, не подлежащим ГМК. Предприятие вправе самостоятельно решать вопрос о выборе форм и режимов контроля состояния средств измерений, за исключением тех областей применения средств измерений, за которыми государства всего мира устанавливают свой контроль - это здравоохранение, безопасность труда, экология и др.

Освободившись от государственного контроля, предприятия попадают под не менее жёсткий контроль рынка. Это означает, что свобода выбора предприятия по "метрологическому поведению" является относительной, все равно необходимо соблюдать метрологические правила.

В развитых странах устанавливает и контролирует исполнение этих правил негосударственная организация, именуемая "национальной калибровочной службой". Эта служба берёт на себя функции регулирования и разрешения вопросов, связанных со средствами измерений, не подпадающими под контроль государственных метрологических служб.

Желание иметь конкурентоспособную продукцию побуждает предприятия иметь измерительные средства, дающие достоверные результаты.

Внедрение системы сертификации продукции дополнительно стимулирует поддержание измерительных средств на соответствующем уровне. Это согласуется с требованиями систем качества, регламентируемыми стандартами ИСО серии 9000.

Построение Российской системы калибровки (РСК) основывается на следующих принципах: добровольность вступления; обязательность получения размеров единиц от государственных эталонов; профессионализм и компетентность персонала; самоокупаемость и самофинансирование.

Основное звено РСК - калибровочная лаборатория. Она представляет собой самостоятельное предприятие или подразделение в составе метрологической службы предприятия, которое может осуществлять калибровку средств измерений для собственных нужд или для сторонних организаций. Если калибровка проводится для сторонних организаций, то калибровочная лаборатория должна быть аккредитована органом РСК. Аккредитацию осуществляют государственные научные метрологические центры или органы Государственной метрологической службы в соответствии со своей компетенцией и требованиями, установленными в ГОСТе 51000.2-95 "Общие требования к аккредитующему органу".

Порядок аккредитации метрологической службы утвержден постановлением Госстандарта РФ от 28 декабря 1995 г. N 95 “Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ”.

**3.7.4. Методы поверки (калибровки) и поверочные схемы [18]**

Допускается применение четырех методов поверки (калибровки) средств измерений: непосредственное сличение с эталоном; сличение с помощью компаратора; прямые измерения величины; косвенные измерения величины.

Метод непосредственного сличения поверяемого (калибруемого) средства измерения с эталоном соответствующего разряда широко применяется для различных средств измерений в таких областях, как электрические и магнитные измерения, для определения напряжения, частоты и силы тока. В основе метода лежит проведение одновременных измерений одной и той же физической величины поверяемым (калибруемым) и эталон-ным приборами. При этом определяют погрешность как разницу показаний поверяемого и эталонного средств измерений, принимая показания эталона за действительное значение величины. Достоинства этого метода в его простоте, наглядности, возможности применения автоматической поверки (калибровки), отсутствии потребности в сложном оборудовании.

Метод сличения с помощью компаратора основан на использовании прибора сравнения, с помощью которого сличаются поверяемое (калибруемое) и эталонное средства измерения. Потребность в компараторе возникает при невозможности сравнения показаний приборов, измеряющих одну и ту же величину, например, двух вольтметров, один из которых пригоден для постоянного тока, а другой - переменного. В подобных ситуациях в схему поверки (калибровки) вводится промежуточное звено - компаратор. Для приведенного примера потребуется потенциометр, который и будет компаратором. На практике компаратором может служить любое средство измерения, если оно одинаково реагирует на сигналы как поверяемого (калибруемого), так и эталонного измерительного прибора. Достоинством данного метода специалисты считают последовательное во времени сравнение двух величин.

Метод прямых измерений применяется, когда имеется возможность сличить испытуемый прибор с эталонным в определенных пределах измерений. В целом этот метод аналогичен методу непосредственного сличения, но методом прямых измерений производится сличение на всех числовых отметках каждого диапазона (и поддиапазонов, если они имеются в приборе). Метод прямых измерений применяют, например, для поверки или калибровки вольтметров постоянного электрического тока.

Метод косвенных измерений используется, когда действительные значения измеряемых величин невозможно определить прямыми измерениями либо когда косвенные измерения оказываются более точными, чем прямые. Этим методом определяют вначале не искомую характеристику, а другие, связанные с ней определенной зависимостью. Искомая характеристика определяется расчетным путем. Например, при поверке (калибровке) вольтметра постоянного тока эталонным амперметром устанавливают силу тока, одновременно измеряя сопротивление. Расчетное значение напряжения сравнивают с показателями калибруемого (поверяемого) вольтметра. Метод косвенных измерений обычно применяют в установках автоматизированной поверки (калибровки).

Для обеспечения правильной передачи размеров единиц измерения от эталона к рабочим средствам измерения составляют поверочные схемы, устанавливающие метрологические соподчинения государственного эталона, разрядных эталонов и рабочих средств измерений.

Схемы передачи информации о размерах единиц при их централизованном воспроизведении называют поверочными.

Поверочная схема - это утверждённый в установленном порядке документ, регламентирующий средства, методы и точность передачи размера единицы физической величины от государственного эталона или исходного образцового средства измерений рабочим средствам измерений.

Поверочная схема может быть: государственной и локальной.

Государственная поверочная схема устанавливает передачу информации о размере единицы в масштабах страны. Она возглавляется государственными или специальными эталонами.

Локальные поверочные схемы предназначены для метрологических служб министерств (ведомств) и юридических лиц. Все локальные поверочные схемы должны соответствовать требованиям соподчиненности, которая определена государственной поверочной схемой. Государственные поверочные схемы разрабатываются научно-исследовательскими институтами Госстандарта РФ, держателями государственных эталонов. Локальная поверочная схема уточняет требования государственной схемы применительно к специфике данного ведомства. Она возглавляется рабочими эталонами.

Государственные поверочные схемы утверждаются Госстандартом РФ, а локальные - ведомственными метрологическими службами или руководством предприятия.

Рассмотрим в общем виде содержание государственной поверочной схемы (см. рис. 3.9). Наименование эталонов и рабочих средств измерений обычно располагают в прямоугольниках (для государственного эталона прямоугольник двухконтурный). Здесь же указывают метрологические характеристики для данной ступени схемы. В нижней части схемы расположены рабочие средства измерений, которые в зависимости от их степени точности (т.е. погрешности измерений) подразделяют на пять категорий: наивысшей точности; высшей точности; высокой точности; средней точности; низшей точности. Наивысшая точность обычно соизмерима со степенью погрешности средства измерения государственного эталона. В каждой ступени поверочной схемы регламентируется порядок (метод) передачи размера единицы. Наименования методов поверки (калибровки) располагаются в овалах, в которых также указывается допускаемая погрешность метода поверки (калибровки).

**3.7.5. Сертификация средств измерений**

В соответствии с законом РФ "О сертификации продукции и услуг" в России создана Система сертификации средств измерений, которая предусматривает добровольный характер сертификации и удостоверяет соответствие измерительных средств заявителей метрологическим правилам и нормам. При организации Системы принимались во внимание и в большой степени учитывались нормативные документы международных организаций ИСО, МЭК, ИЛАК, Системы сертификации ГОСТ Р и Системы сертификатов МОЗМ.

Сертификацию средств измерений осуществляют аккредитованные органы по сертификации средств измерений с учетом результатов испытаний, проведенных аккредитованными на техническую компетентность и независимость испытательными лабораториями (центрами). Проведение испытаний в лабораториях (центрах), аккредитованных только на техническую компетентность, допускается при наличии лицензионного соглашения с органом по сертификации, который в таких ситуациях несет ответственность за объективность и достоверность результатов. Аккредитацию органов по сертификации проводит центральный орган системы.

Организационно в Систему входят: Управление метрологии Госстандарта РФ - центральный орган системы, координационный совет, апелляционный комитет, научно-методический центр - Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), органы по сертификации, испытательные лаборатории (центры) средств измерений.

**3.8. Государственная метрологическая служба РФ**

**3.8.1. Метрологические службы**

По закону РФ “Об обеспечении единства измерений” Государственная метрологическая служба находится в ведении Госстандарта России и включает:

государственные научные метрологические центры;

органы Государственной метрологической службы на территории республик в составе Российской Федерации, автономной области, автономных округов, краев, областей, городов Москвы и Санкт - Петербурга.

Госстандарт России осуществляет управление деятельностью по обеспечению единства измерений в Российской Федерации. На него возложены следующие функции:

межрегиональная и межотраслевая координация деятельности по обеспечению единства измерений в Российской Федерации;

представление Правительству Российской Федерации предложений по единицам величин, допускаемым к применению;

установление правил создания, утверждения, хранения и применения эталонов единиц величин;

определение общих метрологических требований к средствам, методам и результатам измерений;

осуществление государственного метрологического контроля и надзора;

осуществление контроля за соблюдением условий международных договоров Российской Федерации о признании результатов испытаний и поверки средств измерений;

руководство деятельностью Государственной метрологической службы и иных государственных служб обеспечения единства измерений;

участие в деятельности международных организаций по вопросам обеспечения единства измерений.

Госстандарт России руководит службой времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ), Государственной службой стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО) и Государственной службой стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД) и координацию их деятельности.

В состав Государственной метрологической службы входят государственные научные метрологические центры, Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы (ВНИИМС), научно-исследовательские институты и около 100 центров стандартизации и метрологии.

Научные центры являются держателями государственных эталонов, а также проводят исследования по теории измерений, принципам и методам высокоточных измерений, разработке научно-методических основ совершенствования российской системы измерений. Наиболее крупные среди научных центров:

НПО ВНИИ метрологии имени Д.И. Менделеева (ВНИИМ, Санкт-Петербург), который специализируется на величинах длины и массы, а также механических, теплофизических, электрических, магнитных величинах, ионизирующих излучениях, давлении, физико-химическом составе и свойствах веществ.

НПО ВНИИ физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ, Московская область) занимается эталонами радиотехнических и магнитных величин, времени и частоты, акустических и гидроакустических величин, а также низких температур, твердости и др.

НПО ВНИИ оптико-физических измерений (ВНИИОФИ, Москва) - это центр по оптическим и оптико-физическим величинам, акустико-оптической спектрорадиометрии, измерениям в медицине, а также единицам измерения параметров лазеров.

Сибирский государственный научно-исслсдовательский институт метрологии (СНИИМ, Новосибирск) занимается радиотехническими, электрическими и магнитными величинами.

Уральский научно-исследовательский институт метрологии (УНИИМ, Екатеринбург) руководит исследованиями по стандартным образцам состава и свойств веществ и материалов.

ВНИИМС специализируется на геометрических и электрических величинах, давлении, параметрах электромагнитной совместимости.

Центрами эталонов являются также: ВНИИ расходометрии (Казань), специализация которого - расход и объем веществ; НПО "Эталон" (Иркутск), область деятельности которого - региональные эталоны времени и частоты, а также электрических величин; НПО Дальстандарт (г. Хабаровск), специализирующееся на региональных эталонах времени и частоты, а также теплофизических величинах.

Государственные научные метрологические центры несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов единиц величин, а также за разработку нормативных документов по обеспечению единства измерений.

Органы государственной метрологической службы осуществляют государственный метрологический контроль и надзор на территориях субъектов РФ.

Государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по обеспечению единства измерений времени, частоты и определения параметров вращения Земли.

Государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов в отраслях народного хозяйства в целях обеспечения единства измерений на основе их применения.

Государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов осуществляет межрегиональную и межотраслевую координацию работ по разработке и внедрению стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов в науке и технике в целях обеспечения единства измерений на основе их применения.

Метрологические службы государственных органов управления РФ и юридических лиц (предприятия, организации, учреждения) создаются в необходимых случаях в установленном порядке для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

Создание метрологических служб или иных организационных структур по обеспечению единства измерений является обязательным при выполнении работ в сферах: здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда; торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств; государственные учетные операции; обеспечение обороны государства; геодезические и гидрометеорологические работы; банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции; производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации; испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации; обязательная сертификация продукции и услуг; измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации; регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Метрологические органы предприятий, являясь важнейшим звеном метрологической службы, призваны обеспечить необходимую и достаточно достоверную измерительную информацию при проектировании, испытании и контроле качества выпускаемой продукции. В связи с этим основными задачами метрологической службы являются следующие:

1. Обеспечение надлежащего состояния мер и измерительных приборов, применяемых на предприятии.

2. Систематическое изучение эксплуатационных качеств измерительной аппаратуры, установление надежности ее работы и оптимальных сроков периодической поверки.

3. Проведение надзора за состоянием и правильным применением измерительной и испытательной техники, за соблюдением установленных методов измерения и испытаний во всех подразделениях предприятия.

4. Активное участие в вопросах выбора и назначения средств измерений, активная политика в области автоматизации измерений и разработки, испытаний и внедрения новой прогрессивной измерительной техники, связанной с дальнейшим подъемом технического уровня предприятия и повышения качества выпускаемой продукции.

Основные задачи, права и обязанности таких служб независимо от форм собственности определены в правилах по метрологии ПР 50-732-93 “Типовое положение о метрологической службе государственных органов управления и юридических лиц”.

В состав метрологических служб предприятий и организаций могут входить самостоятельные калибровочные лаборатории, а также структурные подразделения по ремонту средств измерений.

**3.8.2. Государственный метрологический контроль и надзор**

В соответствии с законом «Об обеспечении единства измерений» государственный метрологический контроль и надзор осуществляются Государственной метрологической службой Госстандарта России.

Государственный метрологический контроль и надзор (ГМК и Н), осуществляемые с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм, распространяются на следующие сферы:

* здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
* торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;
* государственные учетные операции;
* обеспечение обороны государства;
* геодезические и гидрометеорологические работы;
* банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции;
* производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
* испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
* обязательная сертификация продукции и услуг;
* измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;
* регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Все разрабатываемые, производимые, поступающие по импорту и находящиеся в эксплуатации средства измерений делятся на две группы:

1. предназначенные для применения в сферах распространения ГМК и Н). Эти средства измерений признаются годными для применения после их испытаний и утверждения типа и последующих первичной и периодической поверок;
2. не предназначенные для применения и не применяемые в сферах распространения ГМК и Н. За этими средствами измерений надзор со стороны государства (Госстандарта России) не проводится.

Метрологический контроль и надзор метрологическими службами юридических лиц осуществляются путем:

* калибровки средств измерений;
* надзора за состоянием и применением средств измерений (аттестованными для выполнения измерений), эталонами единиц величин (применяемыми для калибровки средств измерений), соблюдением метрологических правил и норм нормативных документов по обеспечению единства измерений;
* выдачи обязательных предписаний, направленных на предотвращение, прекращение или устранение нарушений метрологических правил и норм;
* проверки своевременности представления средств измерений на испытания в целях утверждения типа средств измерений, а также на поверку и калибровку.

Государственный метрологический контроль включает:

1. утверждение типа средств измерений;
2. поверку средств измерений, в том числе эталонов;
3. лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению и ремонту средств измерений.

Утверждение типа средств измерений производится Госстандартом России в соответствии с постановлением Госстандарта России от 8.02.94 № 8 «Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений» и удостоверяется сертификатом об утверждении типа средств измерений. Срок действия этого сертификата устанавливается при его выдаче Госстандартом России. Госстандарт вносит это средство измерений в Государственный реестр.

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

Система испытаний и утверждения типа средств измерений включает:

* испытания средств измерений с целью утверждения типа;
* принятие решения об утверждении типа;
* его государственную регистрацию (внесение в реестр) и выдачу сертификата об утверждении типа;
* испытания средств измерений на соответствие утвержденному типу;
* признание утверждения типа или результатов испытаний типа, проведенных компетентными организациями зарубежных стран;
* информационное обслуживание потребителей измерительной техники, контрольно-надзорных органов и органов государственного управления.

Программа испытаний средств измерений может предусматривать только определение метрологических характеристик конкретных образцов средств измерений и экспериментальную апробацию методики поверки, что по объему работ равносильно метрологической аттестации.

На средство измерений утвержденного типа и на эксплуатационные документы, сопровождающие каждый экземпляр, наносится знак утверждения типа средств измерений установленной формы.

В соответствии с международными соглашениями России Госстандарт РФ может принять решение о признании результатов испытаний и утверждения типа, проведенных в зарубежной стране. Это обязательное условие для внесения типа импортируемого средства измерения в Государственный реестр и его применения в России.

Периодические контрольные испытания изделия на соответствие утвержденному типу проводят в следующих ситуациях:

* при наличии информации от потребителей об ухудшении качества выпускаемых или импортируемых средств измерений;
* при внесении в конструкцию или технологию изготовления средств измерений изменений, влияющих на их нормированные метрологические характеристики;
* при истечении срока действия сертификата об утверждении типа;
* по решению Госстандарта России при постановке на производство средства измерений изготовителем;
* в случае выдачи лицензии на право производства средств измерений предприятию, не являющемуся изготовителем образцов средств измерений, по результатам испытаний которых утвержден их тип.

Поверка средств измерений. Средства измерений (СИ), подлежащие государственному метрологическому контролю и надзору, подвергаются поверке органами Государственной метрологической службы при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации. Допускаются продажа и выдача напрокат только поверенных средств измерений.

В отличие от процедуры утверждения типа, в которой участвует типовой представитель (СИ), поверке подлежит каждый экземпляр СИ.

Перечни групп средств измерений, подлежащих поверке, утверждаются Госстандартом России.

По решению Госстандарта России право поверки средств измерений может быть предоставлено аккредитованным метрологическим службам юридических лиц. Поверочная деятельность, осуществляемая аккредитованными метрологическими службами юридических лиц, контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц.

Все выпускаемые средства измерения из производства или ремонта, ввозимые средства измерений и используемые в целях эксплуатации, проката или продажи, должны быть своевременно представлены на поверку. Положительные результаты поверки средств измерений удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Подробнее содержание поверки изложено в п. 3.7.4.

Лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению и ремонту средств измерений производится после проверки органами Государственной метрологической службы наличия необходимых для этой деятельности условий, а также соблюдения лицами, осуществляющими эту деятельность, установленных метрологических правил и норм. В случаях нарушения установленных условий лицензия аннулируется.

Лицензия выдается на срок не более пяти лет. Орган, выдавший лицензию, обязан проводить периодический контроль за соблюдением условий осуществления лицензируемой деятельности в порядке устанавливаемом им самим.

С целью развития межгосударственных экономических и торговых связей странами СНГ подписано "Соглашение о взаимном признании результатов государственных испытаний и утверждения типа, метрологической аттестации, поверки и калибровки средств измерений, а также результатов аккредитации лабораторий, осуществляющих испытания, поверку или калибровку средств измерений". В развитие этого Соглашения принят еще один документ "Порядок взаимного признания аккредитации лабораторий, осуществляющих испытания, поверку или калибровку средств измерений".

Государственный метрологический надзор осуществляется за:

1) выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;

2) количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;

3) количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Государственный метрологический надзор осуществляется в объединениях, на предприятиях, в организациях и учреждениях независимо от их подчиненности и форм собственности в виде проверок выпуска, состояния и применения средств измерений, эталонов и соблюдения иных метрологических правил и норм. Это распространяется только на средства измерений, относящиеся к сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора. Поэтому первоочередная задача каждого предприятия - составить перечень средств измерений, относящихся к этой классификационной группе, т.е. подлежащих поверке.

Нормативными актами субъектов РФ метрологический надзор может быть распространен и на другие сферы деятельности.

По первову вопросу основным документом, регламентирующим Государственный надзор, являются правила ПР 50.2.002-94 "ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм".

Основными задачами проверок являются:

определение соответствия выпускаемых средств измерений утвержденному типу;

определение состояния и правильности применения средств измерений, в том числе эталонов, применяемых для проверки средств измерений;

определение наличия и применения аттестованных методик выполнения измерений;

контроль соблюдения метрологических правил и норм в соответствии с Законом РФ "Об обеспечении единства измерений" и действующими нормативными документами по обеспечению единства измерений.

По второму вопросу основной документ - правила ПР 50.2.003-94 "ГСИ. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций".

Объектами государственного метрологического надзора за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, являются торговые операции, при которых товары переходят из собственности одного юридического лица или физического лица в собственность другого юридического или физического лица, при этом количество товара определяется в результате измерений.

Нарушениями метрологических правил и норм при определении количества товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, считаются:

а) отчуждение меньшего количества товара по сравнению с заявленным для продажи;

б) отчуждение меньшего количества товара, чем то, которое соответствует заплаченной цене;

в) использование средств измерений, не соответствующих типу, неповеренных, с нарушенным клеймом, дающих неправильные показания.

По третьему вопросу основным документом являются правила ПР 50.2.004-94 "ГСИ. Порядок осуществления Государственного метрологического надзора за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже". Метрологические требования к упаковке делятся на две группы: требования к индивидуальной упаковке и требования к партии товаров в упаковках. Требования к индивидуальной упаковке сводятся к тому, что недовложение товара в упаковку не должно превышать допускаемого предела, указанного в нормативной документации на продукцию. Если такая норма не указана, то следует руководствоваться требованиями, содержащимися в международном документе МР № 87 МОЗМ "Содержимое нетто в упаковках". Данное требование легко контролируется традиционными способами. Правила ПР 50.2.004-94 вводят единственное дополнение - погрешность определения содержимого нетто фасованного товара в каждой упаковке при осуществлении Государственного метрологического надзора не должна превышать 1/5 предела допускаемого отклонения (недовложения).

**3.8.3. Права и обязанности государственных инспекторов по обеспечению единства измерений**

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляют должностные лица Госстандарта России - главные государственные инспекторы и государственные инспекторы по обеспечению единства измерений Российской Федерации, республик в составе Российской Федерации, автономной области, автономных округов, краев, областей, городов Москвы и Санкт - Петербурга.

Осуществление государственного метрологического контроля и надзора может быть возложено на государственных инспекторов по надзору за государственными стандартами, действующих в соответствии с законодательством Российской Федерации и прошедших аттестацию в качестве государственных инспекторов по обеспечению единства измерений.

Государственные инспекторы, осуществляющие поверку средств измерений, подлежат аттестации в качестве поверителей.

При выявлении нарушений метрологических правил и норм государственный инспектор имеет право:

запрещать применение и выпуск средств измерений неутвержденных типов или не соответствующих утвержденному типу, а также неповеренных;

гасить поверительные клейма и аннулировать свидетельства о поверке в случаях, когда средства измерений дают неправильные показания или просрочены межповерочные интервалы;

при необходимости изымать средства измерений из эксплуатации;

представлять предложения по аннулированию лицензий на изготовление, ремонт, продажу и прокат средств измерений в случаях нарушения требований к этим видам деятельности;

давать обязательные предписания и устанавливать сроки устранения нарушений метрологических правил и норм;

составлять протоколы о нарушении метрологических правил и норм.

Государственные инспекторы, осуществляющие государственный метрологический контроль и надзор, обязаны строго соблюдать законодательство Российской Федерации, а также положения нормативных документов по обеспечению единства измерений и государственного метрологического контроля и надзора.

За невыполнение или ненадлежащее выполнение должностных обязанностей, превышение полномочий и за иные нарушения, включая разглашение государственной или коммерческой тайны, государственные инспекторы могут быть привлечены к ответственности в соответствии с законодательством Российской Федерации.

**3.9. Основы квалиметрии [47]**

Квалиметрия — раздел метрологии, изучающий вопросы измерения качества. Здесь используются те же законы и правила, что и в области измерения физических величин, но есть и некоторые особенности, которые наглядно проявляются в сравнении.

Если мерами физических свойств являются физические величины (масса, время, давление, скорость и др.), то мерами свойств, определяющих качество, служат показатели качества.

Установлено 12 областей измерений физических величин: измерения геометрических величин; измерения механических величин; измерения давления и вакуума; теплофизические и температурные измерения; измерения времени и частоты; измерения электрических и магнитных величин; измерения акустических величин и др.

Показатели качества в квалиметрии группируются в областях, установленных РД 50-64-84. К ним относятся такие показатели, как назначения; надежности (безотказности, долговечности, ремонтопригодности, сохраняемости); экономного использования сырья, материалов, топлива, энергии и трудовых ресурсов; эргономические; эстетические; технологичности; стандартизации и унификации и др. (подробнее см. главу 5).

Физические величины используются для описания свойств, в совокупности определяющих качество, но понятия "физическая величина" и "показатель качества" не тождественны. Физические величины отражают объективные свойства природы, а показатели качества — общественную потребность в конкретных условиях. Так, например, масса - физическая величина, а масса изделия - показатель его транспортабельности; скорость - физическая величина, а эксплуатационная скорость автобуса - показатель его назначения; освещенность - физическая величина, а освещенность на рабочем месте - эргономический показатель.

Как и физические величины, показатели качества имеют размерность или могут быть безразмерными. На них в полной мере распространяются все положения теории размерностей.

Количественной характеристикой показателей качества, как и физических величин, является их размер, который нужно отличать от значения - выражения размера в определенных единицах. Размер и значение от выбора единиц не зависят. Например, трудоемкость изготовления и (или) эксплуатации продукции определяется количеством времени, затраченного на изготовление и (или) эксплуатацию единицы продукции, и выражается для промышленных изделий в нормо-часах. Ясно, что трудоемкость изготовления конкретного узла или агрегата (показатель технологичности продукции) не изменится, если ее выразить, например, в человеко-днях. Не изменяются и экономические показатели, такие, например, как себестоимость или цена изделия, от того, что будут выражены не в рублях, а в копейках.

Отвлеченное число, входящее в значение показателя качества (равно, как и в значение физической величины), называется числовым значением. Понятно, что оно-то как раз и зависит от выбора единиц.

Значения показателей качества, как и значения физических величин, могут быть абсолютными и относительными. Абсолютные значения физических величин всегда имеют размерность, а относительные - всегда безразмерные. В отличие от этого абсолютные значения показателей качества могут быть как размерными, так и безразмерными, а относительные - только безразмерными.

Показатели качества делятся на единичные и комплексные. Единичные относятся к одному из свойств, определяющих качество, комплексные - сразу к нескольким свойствам. Комплексные показатели качества могут быть связаны с единичными через функциональные зависимости, отражающие объективные законы природы, а могут быть некоторой комбинацией их, соответствующей определению комплексного показателя.

В комплексных показателях качества низкие значения одних единичных показателей могут компенсироваться высокими значениями других. Иногда это соответствует реальным жизненным ситуациям.

В то же время недопустимо компенсировать низкие значения главных, важнейших показателей качества высокими значениями второстепенных. Для исключения такой возможности комплексный показатель качества домножают на так называемый коэффициент вето, обращающийся в 0 при выходе любого из важнейших единичных показателей за допустимые пределы и равный 1 во всех остальных случаях. Благодаря коэффициенту вето комплексный показатель качества падает до нуля, если хотя бы один из важнейших единичных показателей оказывается неприемлемым.

Так же, как производные физические величины, комплексные показатели качества можно продолжать и дальше комбинировать между собой, добиваясь все большего и большего обобщения свойств, формирующих в целом представление о качестве, Таким образом, структура показателей качества является многоуровневой (рис. 3.11).

Комплексные показатели качества, относящиеся к определенной группе его свойств, называются групповыми. Разновидностью комплексного показателя качества, позволяющего с экономической точки зрения определить оптимальную совокупность свойств изделия, является интегральный показатель качества. Например, интегральным показателем качества буровой установки может быть удельная глубина бурения

,



где НΣ - суммарная глубина проходки буровой установки до капитального ремонта, м; Зс, Зэ - соответственно себестоимость и затраты на эксплуатацию буровой установки до капитального ремонта.

Примером интегрального показателя качества транспортных средств могут служить удельные затраты на 1 километр пробега, то есть

,



где L- пробег транспортного средства до капитального ремонта, км.

Обобщенный показатель качества относится к такой совокупности свойств продукции, по которой оценивается ее качество. При экономических расчетах в роли обобщенного комплексного показателя обычно выступает интегральный показатель качества.

**3.10. Общие характеристики измерительных приборов**

Измерительный прибор представляет собой устройство, предназначенное для преобразования измерительной информации в форму, доступную для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительные приборы делятся на аналоговые и цифровые.

**3.10.1. Аналоговые измерительные приборы**

Аналоговый измерительный прибор характеризуется тем, что информативный параметр входного сигнала (измеряемая величина) преобразуется в информативный параметр выходного сигнала (измеренное значение), при этом информативный параметр выходного сигнала в зависимости от значения измеряемой величины может принимать любые значения в пределах заданных границ.

Для обеспечения возможиости дать заключение относительно значения неизвестной входной величины (измеряемой величины) исходя из выходного сигнала измерительного прибора (измеренного значения) необходимо знать градуировочную характеристику измерительного прибора, т. е. особенности преобразования сигналов при воздействии влияющих величин. Измеряемая величина поступает с выхода измерительного преобразователя, сравнивается с сигналом согласующего устройства, усиливается, ослабляется и (или) преобразуется, а затем выдается выходным устройством в виде однозначной информации, воспринимаемой человеком или же направляемой в вычислительный блок.

Каждый измерительный прибор состоит из трех функциональных блоков: первичного измерительного преобразователя, согласующего устройства (блока сравнения) и устройства вывода измерительного сигнала. Каждый функциональный блок может рассматриваться как соединение одинаковых или различных по своим функциональным характеристикам элементов и узлов. При этом не всегда возможно однозначно разграничить отдельные функциональные блоки.

Первичные преобразователи могут быть активными или пассивными элементами измерительной системы. Активные первичные преобразователи требуют обычно дополнительных источников энергии.

Наиболее широко распространены такие первичные преобразователи, как механическкие, пневматические, гидравлические, оптические, электрические, емкостные и индуктивные.

Механические первичные преобразователи (см. рис. 3.12) используются для линейных и угловых размеров, объема, времени (путем непосредственной силовой или кинематической связи с объектом измерения); силы и давления (через деформируемые элементы); температуры (за счет теплового расширения твердых тел, жидкостей и газов).

Пневматические и гидравлические первичные преобразователи используются (рис. 3.13) для длин, скоростей (объема), частоты вращения, сил (через связь давления, расхода и сечения сопла) и температуры (через изменение давления).

Оптические первичные преобразователи используются (рис. 3.13) для длин и углов (непосредственное измерение, через интерференцию света); концентрации растворов (через поляризацию света и преломление лучей); механических напряжений (через поляризацию света).

Электрические первичные преобразователи подразделяются на:

1. Пассивные электрические преобразователи (рис. 3.14), которые могут быть: пьезоэлектрическими - для длин, сил и давления (используется пьезоэлектрический эффект); электродинамическими для колебаний – для частоты вращения, скорости (используется пропорциональность индуцируемого в катушке напряжения переменному магнитному потоку, вызванному перемещением катушки); электрическими для температур (используется термоэлектрический эффект Зеебека); световыми для светового потока (используется светоэффект).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина | Угол | Длина | Угол | Объем | Время |
| ϕa  ϕa (A)  ϕe (to)  Sa  ϕe  Se  Sa  Se  Sa  Ve  na (ϕa)  Se |  |  |  |  |  |
| Штриховая мера длины | Рычаг | Резьба | Зубчатые колеса | Вращающие-ся лопости | Маятник |
| Сила | Сила | Давление | Давление | Температура | Температура |
| Sa Sa  Te  Sa  Te  ϕe  pe  Sa  pe  Fe  Sa  Fe Sa |  |  |  |  |  |
| Плоская пружина | Деформируемое тело | Трубчатая пружина | Кольцевой дифманометр | Дилатометрический стержень | Биметаллическая пластина |

# Рис. 3.12. Механические первичные измерительные преобразователи [46]

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина pa  Ve  Se pн  pa  Δpa  Te  pa  Fe  ne  pa | Скорость (объем) | Частота вращения | Сила (длина) | Сила (длина) | Температура |
| pa  Fe  (Se) |  |  |  |  |  |
| Сопло-заслонка | Сопло Вентури | Насос с дросселем | Пластинчатая пружина | Сильфон | Газовый манометрич. термометр |
| Длина | Длина | Угол (длина) | Угол (длина) | Механич. напряжение | Показатель преломлен. |
| Sa  ϕe  ϕa (Sa)  ϕe (Se)  Ke  ϕa  εa  Ke (n)  Se  Sa  Sa  Se |  |  |  |  |  |
| Измерительный микроскоп | Интерференционный компаратор | Автоколлиматор | Наклонное зеркало | Поляриметр | Рефрактометр |

# Рис. 3.13. Пневматические, гидравлические (вверху) и оптические (внизу) первичные преобразователи [46]

1. Активные резистивные преобразователи (см. рис. 3.14), которые включают в себя: резистивные преобразователи длин (используется зависимость длины резистора и выходного напряжения); резистивные тензометрические преобразователи длины (используется зависимость сопротивления проволоки от ее удлинения) применяются для измерения внутренних напряжений в материале; резистивные преобразователи силы (используется изменение сопротивления контактируемых повехностей под действием силы); резистивные преобразователи температуры (используется температурная зависимость сопротивления проводников и полупроводников).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сила Ua  Фe  dSe  dt  Ve  S N S  Ua  Ma  ne | Частота вращения | Частота вращения | Скорость | Температура | Световой поток |
| Te1  Te2  Ua  ne  Ua  Fe |  |  |  |  |  |
| Пьезокристалл | Редукцион. тахометр | Генератор | Подвижная катушка | Термоэлемент | Фотоэлемент |
| Длина Ra  (Ua)  Fe | Длина | Сила | Электр. ток | Температура | Свет. поток |
| *l*e  (Be)  Ra(Ua)  Se  Ub  *l*  R  Se  Ra  (Ua)  Ua  Фe  Ra  (Ua)  Te  Ra  (Ua) |  |  | (магнитная индукция) |  |  |
| Потенциометр | Тензометр. пеобразов. | Угольные пластинки | Генератор Холла | Терморезистор | Фоторезистор |

### Рис. 3.14. Пассивные электрические (вверху) и активные ресистивные (внизу) первичные измерительные преобразователи [46]

1. Емкостные преобразователи (рис. 3.15), применяемые для измерения длин (через зависимость емкости от площади электродов и расстояния между ними), уровней и толщин твердого неэлектропроводного вещества (используется зависимость емкости от смещения границы двух веществ с различными диэлектрическими свойствами, расположенными между пластинами конденсатора).
2. Индуктивные преобразователи (см. рис. 3.15), в которых используется зависимость индуктивности катушки от изменения магнитного сопротивления, которое происходит благодаря изменению магнитного пути или магнитной проницаемости. Эти преобразователи могут быть: перемещения с поперечным якорем (используется изменение магнитного пути); перемещения с втяжным якорем (используется изменение магнитной проницаемости); магнитоупругими (используется принцип магнитоупругости, поскольку магнитная проницаемость ряда материалов зависит от механического напряжения).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина ϕe  Ca (Ua) | Длина | Длина | Длина (толщина) | Длина (уровень) | Угол |
| Ca (Ua)  Se  Ca (Ua)  Se  Se  Se  ε1  ε2  Ca (Ua)  Ca (Ua)  Se  ε1  ε2  Ca (Ua) |  |  |  |  |  |
| Световой поток | Дифференц. конденсатор | Цилидрич. конденсатор | Паралл. расп. граничн. диэл. | Перп. расп. граничн. диэлектрика. | Повортный конденс. перем. емкости |
| Длина | Длина | Длина | Длина | Длина | Сила |
| La (Ua)  Se  Se  La (Ua)  Se  La (Ua)  Se  Ua  Se  Ub  La (Ua)  Fe  La (Ua) |  |  |  |  |  |
| Поперечный якорь | Дифференц. поперечный якорь | Втяжной якорь | Дифференц. втяжной якорь | Дифференц. трансформатор | Магнитоупругий преобразоват. |

Рис. 3.15. Активные емкостные (вверху) и индуктивные (внизу) первичные измерительные преобразователи [46]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Длина +  +  Xe  Xa | Сила | Давление | Сила тока |
| Xн  Xe  Xa  Xa  Xe  Xa  Xe |  |  |  |
| Ползунковый реостат | Поршневая система | Струйный усилитель | Усилитель на транзисторах |
| Напряжение | Мощность | Световой поток | Освещенность |
| ~Xa  Xe  Xe  Xa  Xe  Xe  Xa  Xa |  |  |  |
| Магнитный усилитель | Электромашинный усилитель | Фоторезистор | Собирающая линза |

Рис. 3.16. Усилительные звенья [46]

Согласующие устройства аналоговых измерительных сигналов могут вкючать в себя: измерительную мостовую схему; измерительный усилитель (механические, гидравлические, пневматические, электрические магнитные и оптические) (рис. 3.16); демпфирующие звенья (резинометаллические, поршневые, воздушные, на вихревых токах, электические демпфирующие резисторы, тепловые экраны, поглощаюшие фильтры, поляризационные фильтры); вычислительные элементы (звенья).

## Устройства вывода измерительного сигнала. Представление измеренного значения в аналоговой форме характеризуется непрерывным изменением относительного положения указателя (индекса, метки) и шкалы. В зависимости от вида представляемых входных сигналов существуют системы с механическими, пневматическими или электрическими измерительными свойствами (рис. 3.17).

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Длина | Длина | Уровень | Частота вращения | Сила |
| N  S  Xe  Xa  Xe  Xa  Xe  Xa  Xe  Xa  Xe  Xa  Xa  Xe  Xa  Xe  Xe  Xa  Xe  Xa |  |  |  |  |
| Штангенциркуль | Индикатор часового типа | Поплавок | Центробежный регулятор | Поршневой манометр |
| Давление | Расход | Напряжение | Сила тока | Температура |
|  |  |  |  |  |
| Мембранная коробка | Напорный диск | Измерит. мех. магнитоэлектрич. прибора | Измерит. мех. прибора тепловой системы | Биметаллически термометр |

Рис. 3.17. Аналоговые показывающие приборы [46]

С целью снижения субъективных влияний, особенно при измерении быстро изменяющихся во времени величин, осуществляется регистрация выходных величин. Аналоговыми регистрирующими приборами являются приборы: с непрерывной записью, точечной записью, с непрерывной световой записью, светолучевые осциллографы, электронно-лучевые осциллографы, регистрирующие устройства на магнитной ленте.

**3.10.2. Цифровые измерительные приборы**

Интенсификация производственных процессов и научных исследований тесно связана с проведением измерений и обработкой результатов измерений при помощи автоматических измерительных систем. Переход к цифровой технике способствует использованию автоматических измерительных систем и методов активного контроля в процессе производства. В исторически короткое время цифровые измерительные приборы получили поэтому очень широкое применение.

Измеряемые величины разделяют на аналоговые, обладающие несчетным множеством значений по размеру, и квантованные, обладающие счетным множеством значений по размеру.

Применение цифровой измерительной техники связано с квантованием измеряемых величин и их кодированием.

Квантование величины – это операция создания при помощи меры или масштабного преобразователя сигнала, абсолютные или относительные размеры параметров которого имеют ограниченное число значение.

Кодирование – это операция перевода по определенным правилам формального объекта, выраженного совокупностью кодовых символов одного алфавита, в формальный объект, выраженный символами другого алфавита. При кодировании в качестве символов используют буквы алфавита, цифры в определенной системе счисления и различные условные знаки. Наиболее широко применяется числовое кодирование.

Цифровая измерительная техника имеет следующие преимущества по сравнению с аналоговой:

незначительные погрешности отсчета благодаря устранению субъективных влияний (параллакса, усталости, психофизиологических особенностей операторов);

быстрая и простая регистрация измеренных значений (запись, печать, запоминание);

удобство контроля за технологическим процессом путем подключения к центральному контрольно-измерительному пункту и использования управляющей вычислительной машины;

обеспечение автоматизации технологического процесса (измерение, управление, регулирование) путем подключения к управляющей вычислительной машине, работающей в реальном масштабе времени;

простота коррекции погрешностей измерений с использованием соответствующих подпрограмм в электронных вычислительных устройствах.

На рис. 3.18 приведены принципиальные структуры аналоговых и цифровых измерительных систем.

Погрешность измерений при использовании цифровых измеритель-

ных приборов (не связанная с погрешностями, вызываемыми отдельными измерительными звеньями) зависит от наименьшего шага квантования.

Изме-

ряемый

объект

Аналоговая

измеря-

емая ве-

личина

X*e*(t)

Аналоговый

первичный

преобразователь

Аналоговое согласующее устройство

Аналоговое устройство вывода данных

Измеренное значение в аналоговой форме

X*a*(t)

Измеренное значение в цифровой форме

X*aq*(t)

Блок обработки результатов измерений

Изме-

ряемый

объект

Аналоговая

измеря-

емая ве-

личина

X*e*(t)

Аналоговый или цифровой

первичный преобразователь

Цифровое согласующее устройство

Цифровое устройство вывода данных

Измеренное значение в цифровой форме

X*aq*(t)

Блок обработки результатов измерений

Аналоговыя измерительная система

Аналоговыя измерительная система

Оператор

Рис. 3.18. Принципиальные структуры аналоговых и цифровых измерительных систем [46]

Цифровые измерительные приборы могут быть с аналого-цифровым преобразованием: на входе системы (чисто цифровые измерительные системы) характеризуются тем, что аналого-цифровой преобразователь одновременно является первичным измерительным преобразователем; на выходе; промежуточное (непрерывное преобразование величин в цифровые).

Наиболее часто используемые на практике измерительные системы с аналого-цифровым преобразованием на входе содержат первичные преобразователи линейных и угловых величин, а также преобразователи частоты.

Цифровые измерительные системы с аналого-цифровым преобразованием на выходе системы характеризуются тем, что аналого-цифровой преобразователь подключается к аналоговому согласующему устройству (усилителю, фильтру, решающему устройству и т. д.). Обычно для этого применяют аналого-цифровые преобразователи.

В цифровых измерительных системах с промежуточным преобразованием непрерывных величин в цифровые аналого-цифровой преобразователь располагается между аналоговым первичным преобразователем и цифровым согласующим устройством (усилителем, фильтром, решающим устройством и т.д.) и цифровые сигналы на выходе согласующего устройства снова преобразуются в аналоговые сигналы, например, для управления процессом с помощью гибридной аналого-цифровой техники.

Первичный преобразователь воспринимает непосредственно или косвенно измеряемую величину и формирует информативный параметр измерительного сигнала. Хорошо зарекомендовали себя цифровые измерительные преобразователи длин и углов, а также квазицифровые частотные измерительные преобразователи. Наряду с ними находят применение цифровые измерительные преобразователи усилия в перемещение.

**3.11. Расчет точности кинематических цепей**

В различных областях машиностроения и приборостроения применяют механизмы и механические передачи, к которым предъявляются требования кинематической точности. Под кинематической точностью механизма или передачи понимается строгая согласованность движений (перемещений, скоростей или ускорений) ведомого и ведущего звеньев кинематической цепи. В одних механизмах требования относятся к угловым поворотам звеньев, в других — к согласованности угловых поворотов и линейных перемещений.

Ошибкой механизма, характеризующей его точность, называют отклонение действительного значения его выходного параметра от расчетного (идеального) значения. Ошибки механизмов возникают, главным образом, вследствие приближенности выбранной схемы, технологической неточности изготовления звеньев и элементов кинематических пар, неточности монтажа, износа трущихся элементов, внешних силовых воздействий, внутренних силовых явлений в механизмах при их движении и отличия условий эксплуатации (например, температуры и влажности окружающей среды) от номинальных.

В зависимости от характера связей между выходными и входными параметрами, т. е. вида уравнений, описывающих поведение кинематической цепи, различают кинематические и динамические ошибки механизмов.

Кинематическая ошибка механизма определяется в основном его первичными ошибками, к которым относят отклонения размеров элементов кинематических пар, их формы и расположения от идеальных. К первичным ошибкам относятся:

1. Ошибка схемы (структурная ошибка) механизма возникает в том случае, если вместо идеального выбран теоретический механизм с более простой схемой, чем требуется. Так делают для улучшения эксплуатационных качеств механизма, т. е. чтобы его ошибка была меньше, чем ошибка механизма с идеальной, но более сложной схемой.

2. Ошибка положения механизма - отклонение положений ведомых звеньев действительного и соответствующего ему идеального механизма при одинаковых положениях из ведущих звеньев. Если же ведущее звено действительного механизма займет неправильное положение, то соответствующее отклонение положения его ведомого звена называют ошибкой положения ведомого звена, или конечной ошибкой механизма.

3. Ошибка перемещения механизма, под которой понимают разность перемещений ведомых звеньев действительного и идеального механизмов при одинаковых перемещениях их ведущих звеньев.

4. Мертвый ход - это ошибка, появляющаяся для одного и того же положения ведущего звена, но при различном направлении его движения. Эта ошибка существенно влияет на точность механических систем с реверсивным движением. Мертвый ход возникает вследствие зазоров в кинематических парах или упругой деформации звеньев.

Ясно, что результирующая точность любой сложной механической системы в конечном счете определяется точностью составляющих ее простых.

Методы определения ошибок механизмов. По форме методы решения задач точностных анализа и синтеза механизмов могут основываться на различных приближениях, в том числе теоретико-вероятностных. Известны следующие методы:

1. Аналитические - наиболее приемлемы для тех механизмов, для которых легко вывести функцию положения и вычислить частные производные без необходимости учитывать ошибки взаимного расположения и формы элементов кинематических пар.

2. Метод преобразованного механизма удобен для плоских механизмов с низшими парами, в которых основное влияние на точность оказывают ошибки размеров звеньев. Он весьма нагляден и достаточно точен при инженерных расчетах.

3. Метод планов малых перемещений применяется для тех же механизмов, что и предыдущий метод.

4. Метод относительных ошибок удобен для рычажных и фрикционных механизмов, упрощающий решение многих задач.

5. Метод плеча и силы применим к быстродействующим счетно-решающим устройствам с зубчатыми и кулачковыми механизмами, на точность которых существенно влияют ошибки взаимного расположения и формы элементов кинематических пар.

Аналитический (дифференциальный) метод. Существует несколько подходов к решению этой задачи. Рассмотрим решение, изложенное в [17], для механизмов с голономными связями, в которых ограничены возможные перемещения звеньев, но не ограничены скорости точек.

В идеальном механизме с функциональными зависимостями, не содержащими дифференциальных операций, координата выходного (ведомого) звена может быть представлена функцией

Ψ0 = Ψ0 (ϕ, q1, Q2, …, qn),

Ψ0 - координата выходного звена идеального механизма; ϕ - координата входного звена; qi - значения метрических параметров звеньев, которые полностью определяют размеры, форму и взаимное расположение звеньев механизма.

Положение ведомого звена действительного механизма определяется координатой

Ψ = Ψ0 + ΔΨвм =Ψ(ϕ + Δϕ, q1 + Δq1, …, qn + Δqn), (3.16)

где ΔΨвм — ошибка положения ведомого звена действительного механизма; Δϕ — ошибка положения ведущего звена.

Ошибки Δqi обычно не более допусков на размеры звеньев и, следовательно, малы по сравнению со значениями параметров qi.

После разложения функции (3.16) в ряд Тейлора и, ограничиваясь только нулевыми и линейными его членами, получим:

,



откуда найдем приближенное выражение для ошибки положения ведомого звена действительного механизма:

. (3.17)



Индекс 0 у частных производных указывает на то, что они должны вычисляться для идеальных (точных) значений параметров qi и обобщенной координаты ϕ.

Формула (3.17) справедлива для действительного механизма, имеющего первичные ошибки, но выполненного по идеальной схеме. В общем же случае параметр ΔΨвм зависит также и от структурной ошибки механизма:

,



где ΔΨс = Ψт - Ψ0 — ошибка схемы; Ψт - функция положения теоретического механизма; Ψ0 - функция положения идеального механизма.

Ошибка положения действительного механизма с идеальной схемой

. Ошибка положения, вызванная только одной первичной ошибкой Δqk параметра qk , ΔΨk = (∂Ψ/∂qk)0⋅Δqk .



Из формулы (3.17) следует, что ошибка положения ведомого звена механизма равна сумме ошибок, вызываемых каждой первичной ошибкой в отдельности. Вследствие этой независимости действия первичных ошибок вычисление суммарной ошибки положения механизма или положения его ведомого звена не представляет сложности. Лишь для некоторых механизмов вычисление частных производных (∂Ψ/∂qi)0 громоздко и тогда более предпочтительным может быть графоаналитический метод определения ошибок.

Первичные ошибки могут быть скалярными (ошибки длин звеньев), люфтовыми (перемещения звеньев вследствие зазоров в кинематических парах) и векторными (эксцентриситеты вращающихся звеньев, перекосы осей шарниров и поступательных пар). Поэтому результирующая (суммарная) ошибка положения механизма

,



где индексы i, j и ν относятся соответственно к люфтовым, скалярным и векторным ошибкам.

Для нескольких однотипных реальных механизмов все первичные ошибки Δqi, Δqj Δqν будут независимыми и случайными. То же можно сказать и в отношении всех частных производных. Таким образом, частные ошибки, как составляющие результирующей ошибки серии однотипных механизмов, рассеиваются в своих значениях, подчиняясь тем или иным законам распределения вероятностей. Большой практический интерес представляет проверочный расчет результирующей ошибки серии механизмов теоретико-вероятностным методом, если предельные отклонения (допуски) первичных ошибок и законы их распределения известны.

Поскольку частные производные - не случайные величины и их значения известны для каждого положения механизма, ошибки ΔΨ определяют на основе свойств математического ожидания М и среднего квадратичного отклонения σ:

; .



Другие варианты аналитического расчета точности кинематической цепи изложены, например, в [2], [20] и др.

С методоми преобразованного механизма, планов малых перемещений и относительных ошибок можно познакомиться в [17].