

Министерство общего и профессионального образования
Российской Федерации
Академия проблем качества
Московский государственный технический
университет «МАМИ»



Д.Д. Грибанов, С.А. Зайцев, А.В. Митрофанов

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Рекомендовано Минобразования России в качестве учебника для
студентов высших учебных заведений, обучающихся по техническим
специальностям

МОСКВА
1999

СОДЕРЖАНИЕ.

Введение

Глава 1. Термины и определения

Глава 2. Физическая величина. Системы единиц физических величин

2.1. Физическая величина

2.2. Системы единиц физических величин

Глава 3. Воспроизведение и передача размеров физических величин

Глава 4. Основы теории измерений

4.1. Погрешности результатов измерений

4.2. Виды измерений

4.3. Интегральная и дифференциальная функция распределения случайных величин и случайных погрешностей

4.4. Моменты функции распределения

4.5. Равномерный закон распределения

4.6. Нормальный закон распределения

4.7. Точечная и интервальная оценка истинного значения измеряемой физической величины

4.8. Композиция распределения

4.9. Законы распределения случайных погрешностей

4.10. Суммирование составляющих погрешности, измерения

Глава 5. Обработка результатов измерений

5.1. Исключение систематических погрешностей

5.2. Учет неисключенных систематических погрешностей

5.3. Правила и погрешности округления результатов наблюдений и вычислений

5.4. Обработка результатов прямых равноточных измерений

5.5. Обработка результатов прямых неравноточных измерений

5.6. Обработка результатов косвенных измерений

5.7. Обработка результатов совокупных и совместных измерений

Глава 6. Средства измерений

6.1. Средства измерений

6.2. Классификация средств измерений

6.3. Погрешности средств измерений и формы их выражения

Глава 7. Правовые основы и нормативная база обеспечения единства измерений в Российской Федерации

7.1. Правовые основы обеспечения единства измерений в Российской Федерации

7.2. Нормативная база обеспечения единства измерений в Российской Федерации

Глава 8. Государственный метрологический контроль и надзор

8.1. Государственный метрологический контроль

8.2. Утверждения типа средств измерений

8.3. Лицензионная деятельность

Глава 9. Метрологическая служба Российской Федерации

Глава 10. Основы метрологической экспертизы

10.1. Метрологическая экспертиза документации

10.2. Метрологическая экспертиза опытных образцов продукции

Глава 11. Метрологическое обеспечение изделий на стадиях их жизненного цикла

11.1. Цели и задачи метрологического обеспечения изделий на стадиях их жизненного цикла

11.2. Научные, технические и организационные основы метрологического обеспечения

Глава 12. Экономика метрологического обеспечения

12.1. Оценка экономической эффективности метрологического обеспечения

12.2. Критерии экономической эффективности

12.3. Факторы производства, влияющие, на экономическую эффективность

12.4. Экономическая эффективность внедрения новых средств измерений

12.5. Экономическая эффективность организации калибровочных работ и обслуживания средств измерений

12.6. Экономический эффект от внедрения новых методов измерения

12.7. Методика анализа экономической эффективности деятельности метрологических служб в условиях рыночной экономики

Список использованной литературы

Роль метрологии в последние десятилетия резко возросла практически во всех областях научного познания и в практике. Особенно это касается создания новых видов продукции и в автоматизированных производствах. Без надлежащей организации метрологического обеспечения в настоящее время невозможно обеспечить требуемое качество любой продукции. В связи с этим повышаются требования к квалификации метрологов.

К сожалению, имеющиеся в настоящее время материалы, касающиеся вопросов метрологии, рассредоточены в многочисленных источниках. Практически не существует единого для технических ВУЗов учебника по метрологии. Данная книга является попыткой создания такого учебного пособия.

В книге излагаются вопросы метрологии как науки об измерениях, методах и средствах достижения требуемой точности при их проведении, рассматриваются правовая основа и нормативная база обеспечения единства измерений в РФ, вопросы организации метрологической службы, а также некоторые аспекты экономической эффективности метрологического обеспечения в условиях современных рыночных отношений РФ.

Книга предназначена для преподавателей и студентов технических ВУЗов, а также лиц, интересующихся вопросами метрологии.

Главы 2, 7, 8, 9, 10, 11 и 12 написаны действительным членом Академии проблем качества Д.Д. Грибановым, главы 1 и 3 - кандидатом технических наук доцентом А.В. Митрофановым, глава 6 - кандидатом технических наук профессором С.А. Зайцевым, главы 4 и 5 совместно А.В. Митрофановым и Д.Д. Грибановым.

Авторы приносят глубокую благодарность кандидату технических наук В.П. Гурьянову за помощь в написании главы 8, преподавателям кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» МГТУ «МАМИ» профессору кандидату технических наук Д.Ф. Брюховцу, ассистентам О.Г. Савостиковой и Е.В. Селифоновой за техническую помощь при подготовке материалов к изданию.

Введение

В своей жизни каждый человек тесно связан с метрологией: с момента рождения, когда его взвешивают и измеряют рост, и до конца жизни.

Метрология зародилась в глубокой древности и по словообразованию обозначает учение о мерах. В первом отечественном труде по метрологии «Общая метрология», ч.1 и 2 1849 г. Ф.И. Петрушевского приводится именно ее описательные функции: «Метрология есть описание всякого рода мер по их наименованиям, подразделениям и взаимному отношению».

В течение тысячелетий люди применяли в своей деятельности только меры длины, площади, объема, массы (веса) и времени. Поэтому область метрологии и ограничивалась описанием и рассмотрением этих мер. Нередко сюда включались также и монеты как меры ценности. В дальнейшем, в связи с усложнением задач, стоящих перед метрологией, понятие «метрология» меняется. К 1949 году под «метрологией» понималось учение о единицах и эталонах, а также учение об измерениях, приводимых к эталонам. С введением государственного стандарта ГОСТ 16263-70 под термином «метрология» было закреплено следующее определение: «Метрология - это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности». В этом определении сделан определенный шаг в сторону практического приложения - обеспечение единства измерений в стране. На важность измерений указывали многие крупнейшие ученые. Так, основоположник отечественной метрологии Д.И.Менделеев считал, что: «В природе мера и вес главные орудия познания, и нет столь малого, от которого не зависело бы все крупнейшее». Он справедливо полагал, что «наука начинается с тех пор, как начинают измерять. Точная наука немыслима без меры».

В настоящее время объектом метрологии являются все единицы измерения физических величин (механических, электрических, тепловых и др.), все средства измерения, виды и методы измерений, т.е. все то, что необходимо для обеспечения единства измерений и организации метрологического обеспечения на всех этапах жизненного цикла любых изделий и научных исследований, а также учет любых ресурсов.

Современная метрология как наука, опирающаяся на достижения других наук, их методы и средства измерений, в свою очередь способствует их развитию. Метрология проникает во все области человеческой деятельности, во все науки и дисциплины и является для всех них единой наукой. Нет ни одной области человеческой деятельности, где можно было бы обойтись без количественных оценок, получаемых в результате измерений. Измерения являются главным путем познания природы человека, основой научных знаний, служат для учета материальных ресурсов, обеспечения требуемого качества продукции, взаимозаменяемости деталей и узлов, совершенствования технологий, автоматизации производства, стандартизации, охраны здоровья и обеспечения безопасности людей и их имущества. Именно от степени метрологического обеспечения зависит решение проблем достижения высокого качества продукции. Для этого необходимо правильно измерять параметры качества материалов и комплектующих изделий, поддерживать заданные технологические режимы, правильно обрабатывать результаты измерений. Нарушение единства измерений, непродуманная их организация и недостаточная точность могут привести к очень большим потерям и даже жертвам.

Например, относительная погрешность определения влажности, равная 1%, в 1982 году привела к неточности определения годовой стоимости угля в 73 миллиона рублей, а зерна - 60 миллионов рублей. Чтобы было более наглядно, метрологи обычно приводят такой пример: На складе было 100 кг огурцов. Проведенные измерения показали, что их влажность составляет 99%, т.е. в ста килограммах огурцов содержится 99 кг воды и 1 кг - сухого вещества. Через какое-то время хранения вновь была измерена влажность этой же партии огурцов. Результаты измерения, занесенные в соответствующий протокол, показали, что влажность уменьшилась до 98%. Поскольку влажность изменилась всего на один процент, то ни у кого не возникло мысли, а какова же масса оставшихся огурцов? А оказывается, что если влажность стала 98%, то огурцов осталось ровно половина, т.е. 50 кг. И вот почему. Количество сухого вещества в огурцах не зависит от влажности, следовательно, оно не изменилось, и как было 1 кг, так и осталось 1 кг, но если раньше это составляло 1%, то после хранения стало 2%. Составив пропорцию, легко определить, что огурцов стало 50 кг.

$$\begin{aligned} 1 \text{ кг} &- 2\% \\ X \text{ кг} &- 100\% \\ X &= (1 \cdot 100) / 2 = 50 \text{ кг} \end{aligned}$$

В промышленности значительная часть измерений состава вещества все еще производится с помощью качественного анализа. Погрешности этих анализов иногда бывают в несколько раз выше, чем разница между количествами отдельных компонентов, на которые должны отличаться друг от друга металлы различных марок, химических материалов и др. В результате таких измерений невозможно достичь необходимого качества продукции.

Можно выделить три основные функции измерений:

- измерения физических величин (ФВ), технических параметров, характеристик процессов, состава и свойств веществ, проводимых при научных исследованиях, испытаниях и контроле продукции, в медицине, сельском хозяйстве, машиностроении и других отраслях хозяйства;
- измерения, проводимые для контроля и регулирования технологических процессов;
- учет продукции, исчисляющийся по массе, длине, объему, расходу, мощности, энергии и т.д.; (особенно в автоматизированных производствах) и для обеспечения нормального функционирования транспорта и связи.

Наиболее наглядным является влияние измерений при выполнении первой функции. Повышение роли измерений в современном производстве требует решительного увеличения доли затрат на метрологическое обеспечение в общем объеме капитальных вложений. В последние годы существования СССР на метрологическое обеспечение уходило от 10% до 15% из всех затрат на выпуск продукции. Расходы на метрологическое обеспечение программы «Аполлон» составили около 60% стоимости всей программы. В Японии в настоящее время затраты на метрологическое обеспечение в 2...2,5 раза больше, чем затраты на выпуск продукции. Отсюда и традиционно высокое качество японской продукции. Пренебрежение метрологическим обеспечением обязательно влечет за собой не только ухудшение качества продукции, но и ставит вопрос о возможности ее дальнейшего выпуска.

В настоящее время в отечественной литературе ряд авторов выделяет такие понятия метрологии, как «теоретическая метрология», «прикладная (или практическая) метрология» и «общая метрология». Такое деление в значительной степени условно. ГОСТ 16263 закрепляет такие разделы метрологии, как «законодательная метрология», «теоретическая метрология» и «прикладная (практическая) метрология».

Законодательная метрология - раздел метрологии, включающий комплекс взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, требований и норм, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств и способов измерений.

Теоретическая метрология - раздел метрологии, посвященный изучению ее теоретических основ.

Прикладная метрология - раздел метрологии, посвященный изучению вопросов практического применения в различных сферах деятельности результатов теоретических исследований в рамках теоретической метрологии и положений законодательной метрологии. Метрология, являясь в известном смысле «наукой наук», естественно, не может обойтись без терминов и определений. Термины в метрологии отличаются от слов обиходного языка тем, что они имеют специализированное точно ограниченное научное значение. Точное значение конкретного явления природы или общества требует точного определения его названия. Наука закрепляет в терминах достижения научного познания. Нередко термин образуется из слова, имеющего в обиходном языке много значений, путем придания ему терминологического значения. Иногда это значение не отрывается от общего значения исходного слова, а только ограничивает его (например, эталон единицы ФВ), в других случаях происходит отрыв от значения исходного слова (например, полотно железной дороги). По определению, данному в Большой Советской Энциклопедии, (издание 3-е, т. 25, стр. 473-474), термин - слово или словосочетание, призванное точно обозначить понятие и его соотношение с другими понятиями в пределах специальной сферы. В этом определении есть одно, на первый взгляд не грозящее никакими осложнениями, ограничение: «в пределах специальной сферы». Метрология является одной из областей науки и, следовательно, для нее это ограничение имеет, казалось бы, такую же силу, как и для других областей науки.

Тем не менее, в отношении метрологии дело обстоит намного сложнее. Роль метрологии за последние десятилетия чрезвычайно возросла. Метрология проникла и завоевала (в некоторых областях завоевывает) себе весьма твердые позиции. В силу того обстоятельства, что метрология распространилась практически на все области человеческой деятельности, метрологическая терминология тесно соприкасается с терминологией каждой из «специальных» сфер. При этом возникло что-то, напоминающее явление несовместимости. Тот или иной термин, приемлемый для одной области науки или техники, оказывается неприемлемым для другой, так как в традиционной терминологии другой области этим же словом может обозначаться совершенно другое понятие.

В целях наведения порядка в этом вопросе был разработан и утвержден государственный стандарт на метрологическую терминологию - ГОСТ 16263 «Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Термины и определения». Поскольку к терминам предъявляются требования лаконичности, им свойственна определенная условность. Не следует об этом забывать и применять утвержденные термины в соответствии с их определением, а с другой стороны понятия, данные в определении, заменять другими терминами.

В данной книге рассматриваются следующие вопросы:

- основные понятия в области метрологии;
- основы теории измерений;
- воспроизведение и передача размеров единиц;
- обработка результатов измерений;
- нормативно - правовые основы обеспечения единства измерений;
- средства измерений, их характеристики, понятия об информационно-измерительных комплексах и системах;
- экономика метрологического обеспечения.

Как уже было сказано, метрология - это наука, а ее практическим приложением является метрологическое обеспечение. В соответствии с определением основополагающего государственного стандарта по метрологии - ГОСТ 1.25-82, «метрологическое обеспечение» - это установление научных, организационных и нормативных основ и технических средств обеспечения единства и требуемой точности измерений.

Научной основой метрологического обеспечения (МО) является метрология. Организационной основой - метрологические службы: государственная, отраслевые и предприятий любой формы собственности. Нормативная основа МО - система стандартов государственной системы обеспечения единства измерений, правила Госстандарта, методические указания (МУ), методические инструкции (МИ), отраслевые стандарты (ОСТ), стандарты предприятий (СТП), технические условия (ТУ), метрологические нормы и правила. Технической основой МО - средства измерений и вспомогательное оборудование.

Необходимо, чтобы результаты измерений одинаковых величин, полученные в разных местах с помощью различных измерительных средств, были бы сопоставимы на уровне требуемой точности.

Глава 1. Термины и определения.

Рассмотрим основные термины и определения метрологии, узаконенные ГОСТ 16263-90.

Физическая величина (ФВ) - свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), но в количественном отношении индивидуальное для каждого объекта (например, длина, масса, время, сила тока и др.). Индивидуальность в количественном отношении следует понимать в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз меньше или больше, чем для другого (например: масса солнца, стола, человека). Термин ФВ допускается применять для свойств, изучаемых в физике, химии и других науках, если для сравнения их количественного содержания в разных объектах требуется применение физических методов. Не следует применять термин «величина» для выражения только количественной стороны рассматриваемого свойства, например, писать «величина массы», «величина давления», «величина силы» и т.д., т.к. эти свойства (масса, давление, сила) сами являются величинами. В этих случаях следует применять термин «размер величины».

Размер ФВ (размер величины) - количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина» (например, размер длины, массы, силы тока и т.д.).

Значение ФВ (значение величины) - оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц, причем отвлеченное (безразмерное) число, входящее в значение физической величины, называется числовым значением (например, 1 м, 5 г, 10 А и др.).

Истинное значение ФВ (истинное значение величины) - значение ФВ, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта.

Действительное значение ФВ (действительное значение величины) - значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному значению, что для данной цели может быть, использовано вместо него.

Система ФВ (система величин) - совокупность ФВ, связанных между собой зависимостями. Для обозначения системы величин указывают группу основных величин, которые обычно обозначаются символами их размерностей. Например, система величин механики LMT, в

которой в качестве основных величин приняты длина l , масса m , время t ; система величин $ЛМТ$, охватывающая механические и электрические величины, в которой в качестве основных величин приняты длина l , масса m , время t , сила электрического тока i .

Основная ФВ (основная величина) - физическая величина, входящая в систему и условно принятая в качестве независимой от других величин этой системы (например, в системе $ЛМТ$ основные величины - длина, масса, время).

Производная ФВ (производная величина) - ФВ, входящая в систему и определяемая через основные величины этой системы по известным физическим зависимостям. Например, скорость в системе величин $ЛМТ$ определяется в общем случае уравнением

$$v=dl/dt,$$

где v - скорость, l - расстояние, t - время.

Размерность ФВ (размерность величины) - выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен единице. Размерность величины представляет собой произведение основных величин, возведенных в соответствующие степени (например, в системе $ЛМТ$ размерность величины X будет:

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

где L, M, T - размерности основных величин, α, β, γ - целые или дробные, положительные или отрицательные вещественные числа, которые являются показателями размерности). Размерность ФВ - это более общая характеристика, чем определяющее величину уравнение, так как одна и та же размерность может быть присуща величинам, имеющим различную качественную сторону и различающимся по форме определяющего уравнения. Например, работа силы F определяется уравнением

$$A_1 = F \cdot l;$$

кинетическая энергия движущегося тела – уравнением

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

а размерность той и другой - одинакова.

Единица ФВ (единица величины) - физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1. Единицы одной и той же ФВ могут различаться по своему размеру, например, метр, фут и дюйм, являясь единицами длины, имеют различный размер: 1 фут = 0,3038 м, 1 дюйм = 0,0254 м.

Основная единица ФВ (основная единица величины)- единица основной ФВ, выбранная произвольно при построении системы единиц (например, основные единицы Международной системы СИ: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль, кандела).

Производная единица ФВ (производная единица величины) - единица производной ФВ, образуемая по определяющему эту единицу уравнению из основных единиц данной системы единиц.

Система единиц ФВ (система единиц) - совокупность основных и производных единиц, относящаяся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами. Например, система единиц СГС, система МКСА, Международная система единиц (СИ) (например, 1 м/с - единица скорости, образованная из основных единиц СИ - метра и секунды; 1 Н - единица силы, образованная из основных единиц СИ - килограмма, метра и секунды).

Когерентная система единиц ФВ (когерентная система) - система единиц, все единицы, которой когерентны (т.е. множитель в уравнениях связи ФВ равен 1).

Кратная и дольная единица ФВ - единица в целое число раз больше или, соответственно, меньше системной или внесистемной единицы. Например, километр (1000 м) или миллиметр (0,001 м).

Шкала ФВ - последовательность значений, присвоенная в соответствии с правилами, принятыми по соглашению, последовательности одноименных ФВ различного размера (например, шкала медицинского термометра или весов).

Измерение - нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств.

Прямое измерение - измерение, при котором искомое значение ФВ находят непосредственно из опытных данных. Например, измерение массы с помощью циферблатных или равно плечных весов, температуры термометром, длины с помощью линейки и т.д.

Косвенное измерение - измерение, при котором искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой

величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям. Например, измерение площади, объема.

Совокупные измерения - производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин находят решением системы уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин. Например, измерения, при которых массы отдельных гирь набора находят по известной массе одной из них и по результатам прямых сравнений масс различных сочетаний гирь.

Совместные измерения - производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними. Например, измерения, при которых электрическое сопротивление при температуре 20°C и температурные коэффициенты измерительного резистора находят по данным прямых измерений его сопротивления при различных температурах.

Наблюдение при измерении - экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих совместной обработке для получения результата измерения.

Метод измерений - совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Средство измерения (СИ) - техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические свойства (характеристики).

Мера - СИ, предназначенное для воспроизведения ФВ заданного размера (гиря, измерительный резистор, температурная лампа и др.).

Измерительный прибор - СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем (Например, линейка, штангенциркуль).

Измерительный преобразователь - СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не воспринимаемая непосредственно наблюдателем. Не рекомендуется заменять этот термин словом «датчик» (например, тензорезистор, термопара).

Измерительная система - совокупность СИ и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи,

предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления (Например, система слежения за спутниками).

Погрешность измерения - отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Абсолютная погрешность измерения - погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины.

Относительная погрешность измерения - отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины. Может выражаться в процентах.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины (например, многократные измерения линейной длины).

Систематическая погрешность измерения - составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же детерминированной величины. Например, погрешность, связанная с износом инструмента при обработке детали, или погрешность показаний электрического счетчика индукционной системы, если эти показания снимать сразу же после его включения в электрическую сеть. Погрешность такого счетчика в первые часы работы непрерывно уменьшается из-за прогрева механизма счетчика до температуры, установленной техническими условиями его эксплуатации.

Грубая погрешность измерения (промах) - погрешность измерения, существенно превышающая ожидаемую при данных условиях погрешность.

Среднее квадратическое отклонение результата измерения (СКО) - параметр функции распределения результатов измерений, характеризующий их рассеивание и равный корню квадратному из дисперсии результатов измерений.

Доверительные границы погрешности результата измерения - верхняя и нижняя границы интервала, накрывающего с заданной вероятностью погрешность измерения.

Точность измерений - качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины. Численно оно обратно погрешности измерений, например, если погрешность измерений равна 0,0001, то точность равна 10000.

Эталон единицы - СИ (или комплекс СИ), обеспечивающее воспроизведение и (или) хранение единицы с целью передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений, выполненное по особой спецификации и официально утвержденное в установленном порядке в качестве эталона.

Первичный эталон - эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Вторичный эталон - эталон, значение которого устанавливают по первичному эталону.

Специальный эталон - эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и заменяющий для этих условий первичный эталон.

Государственный эталон - первичный или специальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны.

Эталон-свидетель - вторичный эталон, предназначенный для проверки сохранности государственного эталона и для замены его в случае порчи или утраты.

Эталон-копия - вторичный эталон, предназначенный для передачи размеров единиц рабочим эталонам.

Эталон сравнения - вторичный эталон, применяемый для сличений эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом.

Рабочий эталон - эталон, применяемый для передачи размера единицы образцовым средствам измерений (ОСИ) высшей точности, и в отдельных случаях - наиболее точным рабочим СИ.

Эталонная установка - измерительная установка, входящая в комплекс СИ, утвержденный в качестве эталона.

Образцовое СИ (ОСИ) - мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других СИ и утвержденные в качестве образцовых.

Стандартный образец - мера для воспроизведения единиц величины, характеризующих свойства или состав веществ и материалов.

Рабочее СИ - СИ, применяемое для измерений, не связанных с передачей размеров.

Поверочная схема - утвержденный в установленном порядке документ, устанавливающий средства, методы и точность передачи размера единицы от эталона или исходного ОСИ рабочим СИ.

Метрологическая служба - сеть государственных и ведомственных метрологических органов и их деятельность, направленная на обеспечение единства измерений и единообразия СИ в стране.

Единство измерений - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений известны с заданной вероятностью.

Глава 2. Физическая величина. Системы единиц физических величин.

2.1. Физическая величина.

Как уже было сказано выше, ФВ - это свойство, общее в качественном отношении многим физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам), индивидуальное в количественном отношении для каждого объекта.

Индивидуальность в количественном отношении следует понимать в том смысле, что свойство может быть для одного объекта в определенное число раз больше или меньше, чем для другого.

Термин «величина» обычно применяется в отношении тех свойств или характеристик, которые могут быть оценены количественно, т.е. могут быть измерены. Существуют такие свойства или характеристики, которые в настоящее время наука и техника еще не позволяют оценивать количественно, например, запах, вкус, цвет. Поэтому такие характеристики обычно избегают называть «величинами», а называют «свойствами».

В широком смысле «величина» - понятие многовидовое. Это можно продемонстрировать на примере трех величин.

Первый пример - это цена, стоимость товаров, выраженная в денежных единицах. Раньше системы денежных единиц были составной частью метрологии. Сейчас - это самостоятельная область.

Вторым примером разновидности величин можно назвать биологическую активность лекарственных веществ. Биологическая активность ряда витаминов, антибиотиков, гормональных препаратов и т.п. выражается в Международных единицах биологической активности, обозначаемых И.Е. (Например, в рецептах пишут «количество пенициллина - 300 тыс. И.Е.»).

Третий пример - физические величины, т.е. свойства, присущие физическим объектам (физическим системам, их состояниям и происходящим в них процессам). Именно этими величинами, главным образом, и занимается современная метрология.

В тех случаях, когда необходимо подчеркнуть, что речь идет о количественном содержании в данном объекте физической величины, следует употреблять слово «размер». Количественная оценка конкретной физической величины, выраженная в виде некоторого числа единиц данной величины, называется значением физической

величины. Отвлеченное число, входящее в значение физической величины, называется числовым значением. Между значением и размером величины есть принципиальная разница. Размер величины существует реально, независимо от того, знаем ли мы его, или нет. Выразить размер величины можно при помощи любой единицы.

Размер ФВ, обозначаемый Q , не зависит от выбора единицы, однако числовое значение целиком зависит от выбранной единицы. Если размер величины Q в системе единиц ФВ (1) определится как $Q = n_1 [Q1]$, где $[Q1]$ - единица ФВ в системе (1), n_1 - числовое значение размера ФВ в этой же системе, то в другой системе единиц ФВ (2), в которой $[Q2]$ не равно $[Q1]$, не изменившийся размер Q будет выражен другим значением $Q = n_2 [Q2]$, но при этом $n_2 \neq n_1$. Так, например масса одного и того же батона хлеба может быть 1кг или 2,5 фунта, или диаметр трубы $D=20'=50,8$ см.

Поскольку размерность ФВ представляет собой выражение, отражающее связь с основными величинами системы, в которой коэффициент пропорциональности равен 1, то размерность равна произведению основных ФВ, возведенных в соответствующую степень. Например, в системе ЛМТ размерность производной единицы равна $L^\alpha M^\beta T^\gamma$. Записывается это следующим образом:

$$\dim(Q) = L^\alpha M^\beta T^\gamma$$

(\dim от слова «dimension» - размерность), это определяет размерность производной величины Q относительно основных величин L, M, T . Размерность производной величины отражает, во сколько раз изменится ее размер при изменении размеров основных величин. Например, если величина X равна $L^\alpha M^\beta T^\gamma$, и длина изменяется от l до l_1 , а масса - от m до m_1 , время - от t до t_1 , то новый размер величины X' изменится по сравнению с прежним в $(l/l_1)^\alpha (m/m_1)^\beta (t/t_1)^\gamma$ раз.

Вычисление размерности существенно упрощается, если учесть, что при этом выполняются следующие два правила:

Если $P = RQ$, то $\dim(P) = \dim(R) \cdot \dim(Q)$.

Если $P = R/Q$, то $\dim(R) = \dim(P) / \dim(Q)$,

где P, R и Q - любые физические величины.

Например, размерность:

ускорения –

$$\dim(a)=\dim(\Delta V/\Delta t)=\dim(\Delta V)/\dim(\Delta t)= \\ =(\dim(\Delta l)/\dim(\Delta t))/\dim(\Delta t)=LT^{-2};$$

электрического заряда-

$$\dim(q)=\dim(it)=\dim(i)\dim(t)=IT.$$

В общем случае, формула размерности для единиц ФВ имеет вид:

$$[Q] = K [A]^\alpha \cdot [B]^\beta \cdot [C]^\gamma,$$

где K - некоторое постоянное число.

Если единицы $[A]$, $[B]$ и $[C]$ являются основными, то эта формула определяет размерность производной единицы $[Q]$ относительно основных единиц. Эта формула показывает размерность производной единицы, но ничего не говорит о размере единицы, поскольку множитель K не определен. Коэффициент K желательно выбрать таким, чтобы уравнения связи между величинами формально совпали с уравнениями связи между их числовыми значениями. При этом вычисления по уравнениям физики значительно упрощаются, и снижается риск допустить ошибки в расчетах. Для этого достаточно положить $K=1$. Тогда производные единицы определяются следующим образом:

$$[Q] = [A]^\alpha \cdot [B]^\beta \cdot [C]^\gamma.$$

Системы единиц, производные единицы которых образуются по выше приведенной формуле, называются **согласованными** или **когерентными**. Понятие размерности широко используется в физике, технике и метрологической практике при проверке правильности сложных расчетных формул и выяснении зависимости между ФВ.

На практике часто бывает необходимо использовать безразмерные величины.

Безразмерная ФВ - это величина, в размерность которой основные величины входят в степени, равной 0. Однако следует понимать, что величины, безразмерные в одной системе единиц могут иметь размерность в другой системе. Например, абсолютная диэлектрическая проницаемость в электростатической системе

является безразмерной, в то время как в электромагнитной системе ее размерность равна $L^{-2} T^2$, а в системе ЛМТІ ее размерность - $L^{-3} M^{-1} T^4 I^2$.

Единицы той или иной физической величины, как правило, связаны с мерами. Размер единицы измеряемой физической величины принимается равным размеру величины, воспроизводимому мерой. Но на практике одна единица оказывается неудобной для измерения больших и малых размеров данной величины. Поэтому применяется несколько единиц, находящихся в кратных и дольных соотношениях между собой.

Кратная единица ФВ - единица, которая в целое число раз больше, чем основная или производная единица.

Дольная единица ФВ - единица, которая в целое число раз меньше основной или производной единицы.

Кратные и дольные единицы ФВ образуются благодаря соответствующим приставкам к основным единицам. Эти приставки приведены в таблице 1.1.

Таблица 1.1

Множитель	Приставка		
	Обозначение		
	Наименование	Русское	Международное
10^{15}	пета	П	P
10^{12}	тера	Т	T
10^9	гига	Г	G
10^6	мега	М	M
10^3	кило	к	k
10^2	гекто	г	h
10^1	дека	да	da
10^{-1}	деци	д	d
10^{-2}	санتي	с	c
10^{-3}	мили	м	m
10^{-4}	микро	мк	μ
10^{-9}	нано	н	n
10^{-12}	пико	п	p
10^{-15}	фемто	ф	f

2.2. Системы единиц физических величин.

Единицы величин начали появляться с того момента, когда у человека возникла необходимость выражать что-либо количественно. Первоначально единицы физических величин выбирались произвольно, без какой-либо связи друг с другом, что создавало значительные трудности. По мере развития техники и международных связей, трудности использования результатов измерений, выраженных в различных единицах, возрастали и тормозили дальнейший научно-технический прогресс. Возникла необходимость в создании единой системы единиц физических величин. Под системой единиц ФВ понимается совокупность основных единиц ФВ, выбираемых независимо друг от друга, и производных единиц ФВ, которые получаются из основных на основании физических зависимостей. Примем L, M, T за основные единицы ФВ. Тогда размерность производной единицы ФВ Q определится следующим образом:

$$[Q] = K L^{\alpha} \cdot M^{\beta} \cdot T^{\gamma}.$$

Как было указано выше, коэффициент K может иметь любое значение. Наиболее удобно, когда K=1. Впервые понятие системы единиц ввел немецкий ученый К. Гаусс. Он предложил принцип построения таких систем. По этому принципу вначале устанавливают или выбирают несколько физических величин, независимых друг от друга. Единицы этих физических величин называются *основными*, так как они являются основой для построения всей системы единиц других величин. Метод, основанный на этом принципе имеет три основные особенности:

- не связан с конкретными размерами основных единиц величин;
- построение системы единиц, в принципе, возможно для любых величин, между которыми имеется связь, выражаемая в математической форме в виде уравнения;
- выбор величин, единицы которых должны стать основными, ограничивается соображениями рациональности и, в первую очередь тем, что оптимальным является выбор минимального количества основных единиц величин.

Первоначально были созданы системы единиц, основанные на трех единицах: длина - масса - время (СГС, сантиметр - грамм - секунда). Рассмотрим наиболее распространенную во всем мире и принятую у нас в стране Международную систему единиц СИ, содержащую семь основных единиц и две дополнительных. Основные единицы ФВ этой системы приведены в таблице 2.

Таблица 2

Физическая величина	Размерность	Наименование	Обозначение
Длина	L	метр	м
Масса	M	килограмм	кг
Время	T	секунда	с
Сила электрического тока	A	ампер	A
Термодинамическая температура	Θ	кельвин	K
Количество вещества	N	моль	моль
Сила света	J	канделла	кд

Дополнительными единицами ФВ являются:

плоский угол - радиан (рад, rad), равный углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;

телесный угол - стерadian (ср, sr), равный телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности сферы площадь, равную площади квадрата со стороной, равной радиусу сферы.

Производные единицы системы СИ образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами и, поскольку эта система когерентна, (K=1). В этой системе размерность производной ФВ Q в общем виде определится следующим образом:

$$[Q] = [L]^{\alpha} \cdot [M]^{\gamma} \cdot [T]^{\beta} \cdot [I]^{\delta} \cdot [\Theta]^{\epsilon} \cdot [J]^{\omega} \cdot [N]^{\lambda},$$

где:

[L] - единица длины, м

[M] - единица массы, кг

[T] - единица времени, с

[I] - единица силы тока, A

[Θ] - единица термодинамической температуры, K

[J] - единица силы света, кд

[N] - единица количества вещества, моль,

$\alpha, \beta, \gamma, \delta, \varepsilon, \omega, \lambda$ - целые положительные или отрицательные числа, включая и 0.

Например, размерность единицы скорости в системе СИ будет выглядеть таким образом:

$$[V]=[L]^1[M]^0[T]^{-1}[I]^0[\Theta]^0[J]^0[N]^0=[L]^1[T]^{-1}.$$

Так как написанное выражение для размерности производной ФВ в системе СИ совпадает с уравнением связи между производной ФВ и единицами основных ФВ, то удобнее пользоваться выражением для размерностей, т.е. $V=LT^{-1}$.

Частота периодического процесса $F=T^{-1}$ (Гц).

Сила $\Rightarrow LMT^{-2}$.

Плотность $\Rightarrow L^{-3}M$.

Энергия $\Rightarrow L^2MT^{-2}$.

Подобным образом можно получить любую производную ФВ системы СИ.

Эта система была введена у нас в стране с 1 января 1982 г. по ГОСТ 8.417-81.

Основные преимущества системы СИ

Универсальность - охватывает все области науки, техники и хозяйства.

Унификация единиц для всех видов измерений.

Применение удобных для практики основных и большинства производных единиц.

Когерентность - коэффициент пропорциональности в физических уравнениях, определяющих единицы производных ФВ равен 1.

Четкое разграничение единиц массы (кг) и силы (Н).

Упрощение записи уравнений и формул из-за отсутствия в них переводных коэффициентов.

Облегчение педагогического процесса, так как отпадает необходимость изучения множества систем единиц.

Облегчение взаимопонимания в развитии международных научно-технических и экономических связей.

Дадим определения основных единиц системы СИ.

Метр - равен $1\ 650\ 763,73$ длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86.

Килограмм - равен массе международного прототипа килограмма.

Секунда - равна $9\ 192\ 631\ 770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133.

Ампер - равен силе не изменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м друг от друга, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Кельвин - равен $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды.

(Температура тройной точки воды - температура точки равновесия воды в твердой (лед), жидкой и газообразной (пар) фазах на $0,01$ К или $0,01^\circ\text{C}$ выше точки таяния льда).

Допускается применение шкалы Цельсия ($^\circ\text{C}$). Температура в $^\circ\text{C}$ обозначается символом t и равна: $t = T - T_0$, $T_0 = 273,15$ К, $t = 0 \Rightarrow T = 273,15$.

Моль - равен количеству вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг.

Канделла - равна силе света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, энергетическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср.

Кроме системных единиц системы СИ у нас в стране узаконено применение и некоторых внесистемных единиц, удобных для практики и традиционно применяющихся:

атмосфера - $9,8$ Н/1 см², бар, мм ртутного столба;

ангстрем - 10^{-10} м;

киловатт-час;

час - 60 с;

дюйм - для диаметров труб и трубных резьб и др.

Кроме того, применяются логарифмические ФВ - логарифм (десятичный или натуральный) безразмерного отношения

одноименных ФВ. Логарифмические ФВ применяют для выражения звукового давления, усиления, ослабления.

Единица логарифмической ФВ - Бел (Б).

$$1 \text{ Б} = \lg (P_2 / P_1) \text{ при } P_2 = 10 P_1.$$

P_2 и P_1 - одноименные энергетические величины: мощность, энергия. Для «силовых» величин (напряжения, сила тока, давление, напряженность поля) Белл определяется по формулам:

$$1 \text{ Б} = 2 \lg F_2 / F_1 \text{ при } F_2 = \sqrt{10 F_1}.$$

Дольная единица от Белла - децибел $1 \text{ дБ} = 0,1 \text{ Б}$.

Если $P_2 = 10 P_1$, то $\lg(P_2 / P_1) = 10 \text{ дБ}$,

если $P_2 = 10^2 P_1$, то $\lg(P_2 / P_1) = 20 \text{ дБ}$, $P_2 = 10^3 P_1$, то $\lg(P_2 / P_1) = 30 \text{ дБ}$ и т.д.

Широкое применение получили относительные ФВ - безразмерные отношения двух одноименных ФВ. Они выражаются в процентах (%), безразмерных единицах.

Существуют определенные правила написания обозначений единиц. При написании обозначений производных единиц обозначения единиц, входящих в производные, разделяются точками, стоящими на средней линии как знак умножения « \cdot ». Например: Н \cdot м (читается - «ньютон-метр), А \cdot м² (ампер-квадратный метр), Н \cdot с/м² (ньютон-секунда на квадратный метр). Наиболее употребительно выражение в виде произведения обозначений единиц, возведенных в соответствующую степень: например, м² \cdot с⁻¹.

При наименовании, соответствующем произведению единиц с кратными или дольными приставками, рекомендуется приставку присоединять к наименованию первой единицы, входящей в произведение. Например, 10³ единиц момента силы - ньютон-метров, следует именовать «килоньютон-метр», а не «ньютон-километр». Записывается это следующим образом: кН \cdot м, а не Н \cdot км.

Глава 3. Воспроизведение и передача размеров физических величин.

Как уже было указано, единство измерений - это такое состояние измерений, при котором результаты измерений выражаются в узаконенных единицах, а их погрешность известна с заданной вероятностью. Так же указывалось, что измерение - это нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств - средств измерений. (Их определение было дано в главе 1.)

Для обеспечения единства измерений необходима тождественность единиц, в которых градуированы все СИ. Это достигается путем точного воспроизведения и хранения установленных единиц ФВ и передачи их размеров применяемым СИ.

Воспроизведение, хранение и передача размеров единиц ФВ осуществляется с помощью эталонов и образцовых СИ. Высшим звеном в цепи передачи размеров единиц ФВ являются эталоны. (Определение всех видов эталонов было дано в главе 1).

Основное назначение эталонов - обеспечение материально-технической базы воспроизведения и хранения единиц ФВ.

Принципы систематизации эталонов по воспроизводимым единицам.

Основные единицы ФВ Международной системы СИ должны воспроизводиться централизованно с помощью Государственных эталонов.

Дополнительные, производные, а при необходимости и внесистемные единицы, исходя из технико-экономической целесообразности, воспроизводятся одним из двух способов:

- централизованно - с помощью единого для всей страны Государственного эталона;
- децентрализованно - посредством косвенных измерений, выполненных в органах метрологической службы с помощью образцовых средств измерений (ОСИ).

Централизованно воспроизводится большинство важнейших производных единиц Международной системы единиц СИ:

- ньютон - сила, $1 \text{ Н} = 1 \text{ кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^{-2}$;
- джоуль - энергия, работа, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$;
- паскаль - давление, $1 \text{ Па} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}^{-2}$;
- Ом - электрическое сопротивление;

- вольт - электрическое напряжение.

Децентрализованно воспроизводятся единицы, размер которых не может передаваться прямым сравнением с эталоном (например, единица площади) или, если поверка мер посредством косвенных измерений проще, чем сравнение с эталоном, и обеспечивает необходимую точность (например, единица вместимости и объема). При этом создаются поверочные установки высшей точности.

Государственные эталоны хранятся в метрологических институтах Госстандарта РФ. По решению Госстандарта РФ допускается их хранение и применение в органах ведомственных метрологических служб.

Кроме национальных эталонов единиц ФВ существуют международные эталоны, хранимые в Международном бюро мер и весов. Под эгидой Международного бюро мер и весов проводится систематическое международное сличение национальных эталонов крупнейших метрологических лабораторий с международными эталонами и между собой. Так, например, эталон метра и килограмма сличают раз в 25 лет, эталоны электрического напряжения, сопротивления и световые - раз в 3 года.

Большинство эталонов представляют собой сложные и весьма дорогостоящие физические установки, требующие для своего обслуживания и применения ученых высочайшей квалификации, обеспечивающих их эксплуатацию, совершенствование и хранение.

Рассмотрим примеры государственных эталонов.

Эталон длины.

До 1960 года действовал следующий эталон метра: Метр определялся как расстояние при 0°C между осями двух соседних штрихов, нанесенных на платиново-иридиевом бруске, хранящемся в Международном бюро мер и весов, при условии что эта линейка находится при нормальном давлении и поддерживается двумя роликами диаметром не менее 1 см, расположенными симметрично в одной продольной плоскости на расстоянии 571 мм один от другого.

Требование к повышению точности (платиново-иридиевый брусок не позволяет воспроизводить метр с погрешностью, меньшей 0,1 мкм), а также целесообразность установления естественного и неразмерного эталона привели к созданию в 1960 году нового, действующего по

настоящее время, эталона метра, точность которого на порядок выше старого. В новом эталоне метр определяется как длина, равная $1\,650\,763,73$ длины волны в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона-86.

Физические принципы эталона: возбужденные пары и газы излучают свет, в спектре которого имеется ряд линий. Каждая линия определяется источником монохроматического излучения с определенной длиной волны. Атомы излучают свет после возбуждения, когда они переходят в одно из состояний с более высокого уровня энергии $E_1, E_2, E_3, \dots E_n$. Затем атом возвращается в какое-либо другое строго допустимое (дискретное) энергетическое состояние с более низким уровнем энергии. Этот процесс связан с излучением световой энергии.

Государственный первичный эталон метра РФ состоит из следующего комплекса аппаратуры:

- Источник излучения - газоразрядная лампа с изотопом криптона-86.
- Эталонный интерферометр с фотоэлектрическим микроскопом и рефлектором для измерений длины в пределах (0...1000) мм, снабженный платиновым термометром сопротивления и дифференциальными термопарами для точных измерений температуры.
- Эталонный спектроинтерферометр для измерения длин волн в пределах (200...3000) мм.

Место хранения эталона метра - ВНИИМ им. Д.И. Менделеева.

Среднее квадратическое отклонение (СКО) воспроизведения единицы метра не превышает $5 \cdot 10^{-9}$ м.

Эталон постоянно совершенствуется с целью повышения точности, стабильности, надежности. В частности, для эталона метра в настоящее время рассматриваются пути повышения точности с учетом последующих достижений физики.

Методы повышения точности базируются на возможности использования атомных пучков в вакууме как источников монохроматического излучения, стабилизированных лазеров в качестве источников интенсивного монохроматического излучения с узкой спектральной линией и др. физические эффекты.

Эталон массы.

Государственный первичный эталон килограмма РФ хранится во ВНИИМ им. Д.И. Менделеева. Он обеспечивает воспроизведение единицы массы 1 кг с (СКО) не более $3 \cdot 10^{-8}$ кг. В состав государственного первичного эталона килограмма входят:

- Копия международного прототипа килограмма - платиново-иридиевый прототип №12, представляющий собой гирю в виде цилиндра с закругленными ребрами диаметром 39 мм и высотой 39 мм.
- Эталонные весы №1 и №2 на 1 кг с дистанционным управлением для передачи размера единицы массы от прототипа №12 эталонам-копиям и от эталонов-копий рабочим эталонам.

Эталон времени и частоты

Государственный первичный эталон РФ времени и частоты хранится во ВНИИФТРИ.

В эталоне используются квантовые меры, в которых за опорную меру принимается частота, соответствующая частоте перехода в атомах или молекулах выбранного вещества. Квантовые меры разделяются на реперы и хранители. Реперы включаются эпизодически с целью осуществления поверок и регулировок СИ частоты, а хранители (представляющие собой часы) работают непрерывно.

В состав Государственного эталона времени входят:

- цезиевый репер и часы;
- водородный репер и часы;
- рубидиевые часы (квантовый генератор на рубидиевом кристалле с оптической накачкой);
- аппаратура внутренних и внешних сличений эталонов;
- аппаратура обеспечения.

СКО погрешности воспроизведения времени по частоте не превышает 10^{-13} Гц при неисключенной систематической погрешности не более 10^{-12} Гц.

Эталон единицы силы электрического тока - ампера.

Этот эталон хранится во ВНИИМ. Он состоит из следующих частей:

- токовые весы;
- аппаратура для передачи размера единицы силы тока, в которую входит катушка электрического сопротивления, получившая значение сопротивления от первичного эталона единицы электрического сопротивления - Ома.

СКО погрешности воспроизведения не превышает $4 \cdot 10^{-6}$, неисключенная систематическая погрешность не превышает $8 \cdot 10^{-6}$.

Эталон единицы температуры.

Этот эталон представляет собой очень сложную установку. Измерение температуры в диапазоне (0,01...0,8) К осуществляется по температурной шкале термометра магнитной восприимчивости ТШТМВ. В диапазоне (0,8...1,5) К используется шкала гелия-3 (^3He), основанная на зависимости давления насыщенных паров гелия-3 от температуры. В диапазоне (1,5...4,2) К используется шкала гелия-4 (^4He), основанная на том же принципе. В диапазоне (4,2...13,81) К температура измеряется по шкале германиевого термометра сопротивления ТШГТС. Используется зависимость $R=R(t)$. В диапазоне (13,81...6300) К используется международная практическая шкала МПТШ-68, основанная на ряде воспроизводимых равновесных состояний различных веществ.

Передача размеров единиц от первичного эталона рабочим мерам и средствам измерения осуществляется с помощью разрядных эталонов (рис. 3.1).

Разрядный эталон - мера, измерительный преобразователь или измерительный прибор, служащий для поверок по ним других СИ и утвержденный в органах Государственной метрологической службы. Схема передачи размеров (метрологическая цепь), от эталонов к рабочим СИ (первичный эталон \Rightarrow эталон-копия \Rightarrow разрядные эталоны \Rightarrow рабочие СИ) представлена на рис.3.1).

Между разрядными эталонами существует соподчиненность:

эталон первого разряда поверяются непосредственно по эталонам-копиям;

эталонны второго разряда - по эталонам 1-го разряда и т.д.

Отдельные рабочие СИ наивысшей точности могут поверяться по эталонам-копиям, высшей точности - по эталонам 1-го разряда.

Разрядные эталоны находятся в метрологических институтах Государственной метрологической службы (МС), а также в поверочных лабораториях отраслевых МС, которым в установленном порядке предоставлено право поверки СИ.

СИ в качестве разрядного эталона утверждаются органом Государственной МС. Для обеспечения правильности передачи размеров ФВ во всех звеньях метрологической цепи должен быть установлен определенный порядок. Этот порядок приводится в поверочных схемах.

Как уже было указано, поверочная схема - это исходный документ, утвержденный в установленном порядке и устанавливающий средства, методы и параметры точности передачи размеров единиц ФВ от первичного или разрядного эталона рабочим СИ.

Положение о поверочных схемах установлено в ГОСТ 8.061-80 «ГСИ. Поверочные схемы. Содержание и построение».

Различают Государственные поверочные схемы и локальные (отдельных региональных органов Государственной МС или ведомственных МС). Поверочные схемы содержат текстовую часть и необходимые чертежи и схемы.

Строгое соблюдение поверочных схем и своевременная поверка разрядных эталонов - необходимые условия для передачи достоверных размеров единиц физических величин рабочим средствам измерений.



рис. 3.1

Глава 4. Основы теории измерений.

4.1. Погрешности результатов измерений.

ИЗМЕРЕНИЕ - есть нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств.

Это определение техническое и не отражает физической сущности процесса измерения, поэтому Маликов, один из основоположников отечественной метрологии, предложил следующее понятие измерения:

Измерение - познавательный процесс, заключающийся в сравнении путем физического эксперимента данной физической величины с известной величиной, принятой за единицу.

В случае прямых измерений математически этот процесс описывается уравнением измерения:

$$Q=q [Q], \text{ где}$$

q - числовое значение ФВ, $[Q]$ - единица ФВ.

Техническими средствами, применяемыми при измерении, являются средства измерений (СИ) В общем случае при измерении происходит сравнение измеренной ФВ с единицей ФВ по шкале измерительного прибора.

Шкала измерительного прибора (ИП) представляет собой совокупность отметок и чисел, изображающих ряд последовательных значений измеряемой величины, кратных или дольных единицы ФВ, с указателем (стрелка, электронный луч). Отметки шкалы, у которых проставлены числовые значения, называются числовыми отметками шкалы.

С точки зрения информационной теории, измерение представляет собой процесс, направленный на уменьшение энтропии измеряемого объекта. Энтропия является мерой неопределенности наших знаний об объекте измерений.

В процессе измерения мы уменьшаем энтропию объекта, т.е. получаем дополнительную информацию об объекте.

Измерительной информацией - называется информация о значениях измеренных ФВ.

Поскольку применяемые при измерениях методы и технические средства не являются идеальными, а органы восприятия

экспериментатора не могут идеально воспринимать показания приборов, то после завершения процесса измерения остается некоторая неопределенность в наших знаниях об объекте измерения, т.е. получить истинное значение ФВ невозможно.

Остаточная неопределенность наших знаний об измеряемом объекте может характеризоваться различными мерами неопределенности.

Такая мера неопределенности, как энтропия, наиболее широко распространена в теории информации. В метрологической практике энтропия используется крайне редко.

В теории измерений мерой неопределенности результата измерений является погрешность результата наблюдений.

Под **погрешностью результата измерений** или просто погрешностью измерений - понимается отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой физической величины.

Записывается это следующим образом:

$$\Delta = X_{\text{изм}} - X, \text{ где}$$

$X_{\text{изм}}$ - результат измерения, X - истинное значение ФВ.

Однако поскольку истинное значение ФВ остается неизвестным, то неизвестна и погрешность измерений. Поэтому на практике имеют дело с приближенными значениями погрешности или с так называемыми их оценками. В формулу для оценки погрешности подставляют вместо истинного значения ФВ её действительное значение. Под действительным значением ФВ понимается её значение, полученное опытным путем и настолько приближающиеся к **истинному значению**, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Таким образом, формула для оценки погрешности следующая:

$$\Delta = X_{\text{изм}} - Q_{\text{д}}, \text{ где}$$

$Q_{\text{д}}$ - действительное значение ФВ.

Как отмечалось выше, поскольку погрешность является мерой неопределенности, принятой в метрологии и технике вообще, то она также является мерой неопределенности знания значения ФВ.

Каковы же основные причины возникновения погрешности?

Можно выделить 4 основные группы погрешностей измерений:

- Погрешности, обусловленные методиками выполнения измерений (погрешность метода измерений).
- Погрешность средств измерений.
- Погрешность органов чувств наблюдателей (личные погрешности).
- Погрешности, обусловленные влиянием условий измерений.

Все эти погрешности дают суммарную погрешность измерения. Принято разделять суммарную погрешность измерений на две составляющие - случайную и систематическую погрешности измерений.

Случайная погрешность измерения - составляющая погрешности результатов измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в повторных наблюдениях, проведенных с одинаковой тщательностью одной и той же детерминированной ФВ.

Систематическая погрешность измерения - составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных наблюдениях одной и той же детерминированной ФВ.

Вообще говоря, в результатах измерений всегда присутствуют эти обе составляющие. Однако часто бывает так, что одна из них значительно превышает другую. В этих случаях меньшей составляющей пренебрегают. Например, при измерениях, проводимых с помощью линейки или рулетки, как правило, превалирует случайная составляющая погрешности, а систематическая мала, и ею пренебрегают. Случайная составляющая в этом случае объясняется следующими основными причинами:

- неточность (перекос) установки рулетки (линейки);
- неточность установки начала отсчета;
- изменение угла наблюдения;
- усталость глаза;
- изменение освещенности.

Систематическая погрешность возникает из-за несовершенства метода выполнения измерений, погрешностей СИ, неточного знания математической модели измерений, из-за влияния условий, погрешностей градуировки и поверки СИ, личных причин.

Поскольку случайные погрешности результатов измерений являются случайными величинами, в основе их обработки лежат методы теории вероятностей и математической статистики.

Случайная погрешность характеризует такое качество, как точность измерений, а систематическая - правильность измерений.

Различают погрешности абсолютные и относительные.

Абсолютная погрешность - погрешность, выраженная в единицах измеряемой величины. (Например, погрешность измерения массы в 5 кг - 0,005 г).

Относительная погрешность - это безразмерная величина, определяющаяся отношением абсолютной погрешности к действительному значению измеряемой ФВ, она может выражаться в процентах (%). Иногда берется отношение абсолютной погрешности к максимальному значению ФВ, которое может быть измерено данным СИ (верхний предел шкалы прибора). Это так называемая приведенная погрешность.

Абсолютная погрешность обозначается знаком Δ , относительная - δ . Она определяется следующим образом:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_D} = \frac{X_{изм} - X_D}{X_D}.$$

Поскольку $X_D \cong X_{изм}$ (или очень мало отличается от него), то на практике обычно принимается $\delta = \Delta / X_{изм}$.

Кроме обычной погрешности измерений различают так называемую «грубую» погрешность измерений (промах), о которой было сказано выше.

Как уже отмечалось, в общем случае проявляются одновременно обе составляющие погрешности измерений - случайная и систематическая, поэтому

$$\Delta = \overset{\circ}{\Delta} + \Theta,$$

где Δ - суммарная погрешность измерений; она может быть представлена в виде $\Sigma \Delta$.

$\overset{\circ}{\Delta}$ - случайная составляющая погрешности измерения;

Θ - систематическая составляющая погрешности измерения.

Погрешность является случайной функцией времени, т.е. $\Delta = \Delta(\tau)$. Эта функция, отличается от обычной функции, известной из

математического анализа тем, что нельзя сказать какое значение она может принять в некоторый момент времени τ . Графически это может быть условно представлено следующим образом (рис.4.1.):

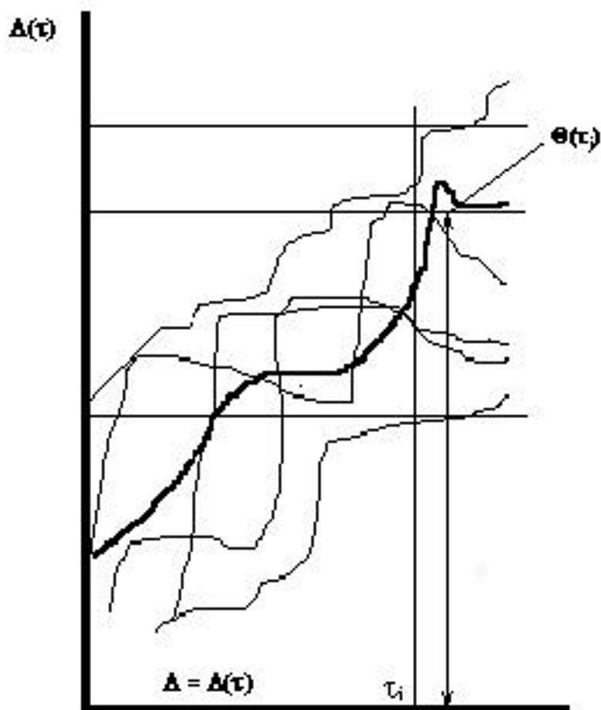


Рис. 4.1.

$\Delta_j = \overset{\circ}{\Delta}(\tau_j) + \Theta(\tau_j)$ - погрешность измерения, соответствующая каждому значению времени τ_j .

Погрешность измерения, соответствующая каждому значению времени τ_j , называется сечением случайной функции $\Delta(\tau)$. Она также называется погрешностью наблюдения измеряемой ФВ в момент времени τ_j .

Систематическая погрешность определяет общую тенденцию изменения погрешности измерения во времени.

Предположим, что:

$\Theta(\tau_j) = 0$, при $j = 1, m$, т.е. систематическую погрешность удалось полностью исключить из результатов измерений.

2. Случайная погрешность в каждом сечении не зависит друг от друга, т.е. знание случайной погрешности в одном сечении не дает никакой информации о погрешности в другом сечении. Тогда случайная погрешность может рассматриваться как случайная величина, а сами результаты наблюдения ФВ в каждый момент времени t_j являются независимыми, случайными величинами. В этих условиях случайная погрешность наблюдения $\overset{\circ}{\Delta}$ определяется как разность между исправленным результатом наблюдения X и истинным значением измеряемой величины - $\overset{\circ}{\Delta} = X - Q$.

«Исправленный результат» наблюдений - это наблюдение, из которого исключена систематическая погрешность. Наблюдение - это совокупность операций при измерении, имеющих своей целью своевременно и правильно произвести отсчет. С другой стороны, наблюдение - это экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, в результате которой получают одно значение из группы значений величины, подлежащих обработке для получения результата измерений. Так, например, если по 3-м или 5-ти наблюдениям получают одно измерение, можно считать, что результат наблюдений дает один результат измерения, а результат измерения - значение измеряемой ФВ, найденное путем обработки результатов наблюдений.

Как правило, для уменьшения случайной погрешности и исключения промахов, измерения проводят с многократными наблюдениями. Обработка результатов наблюдений проводится методами математической статистики по правилам, действующим в отношении случайных величин.

4.2. Виды измерений.

Все измерения могут классифицироваться по:

1. Физической сущности измеряемых ФВ.
2. Характеристике точности - равноточные, неравноточные.
3. Числу измерений случайной величины - однократные, многократные.
4. По отношению к определяемой величине по времени - статические, динамические.

5. Метрологическому назначению - технические, метрологические.
6. Выражению результата измерений - абсолютные, относительные.
7. Общим приемам получения результатов наблюдений, (по способу получения числового значения ФВ) - прямые, косвенные, совместные, совокупные.

Равноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных одинаковыми по точности СИ и в одних и тех же условиях.

Неравноточные измерения - ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности СИ и (или) в разных условиях.

Однократное измерение - измерение, выполненное один раз.

Многократные измерения - измерения одного и того же размера ФВ, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом наблюдений, т.е. состоящих из ряда однократных измерений.

Прямое измерение - измерение ФВ, проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных. Прямое измерение производится путем экспериментального сравнения измеряемой ФВ с мерой этой величины или путем отсчета показаний СИ по шкале или цифровому прибору. (Для примера: измерения с помощью линейки, вольтметра, весов).

Уравнение прямого измерения: $Q=q[Q]$.

Косвенное измерение - измерение, проводимое косвенным методом, при котором искомое значение ФВ находят на основании результата прямого измерения другой ФВ, функционально связанной с искомой величиной известной зависимостью между этой ФВ и величиной, получаемой прямым измерением.

Уравнение косвенных измерений имеет вид:

$$Y=F(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n); Y=F(x),$$

где F - известная функция; n - число прямых измеренных ФВ; $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_n$ - значения прямо измеренных ФВ.

Например: определение площади, объема, электрической мощности методом измерения силы тока I и напряжения U , коэффициента полезного действия.

Совокупные измерения - проводимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин определяют путем решения системы уравнений, получаемых при измерениях различных сочетаний этих величин.

Пример 1: Значение массы отдельных гирь набора определяют по известному значению массы одной из гирь и по результатам измерений (сравнений) масс различных сочетаний гирь.

Имеются гири с массами $m_1, m_2, m_3,$

$$\bar{m}_1 = M_1, \bar{m}_2 = M_{1,2} - \bar{m}_1, \bar{m}_3 = M_{1,2,3} - \bar{m}_1 - \bar{m}_2$$

$M_{1,2}$ - масса гирь m_1 и m_2 ; $M_{1,2,3}$ - масса гирь m_1, m_2, m_3 ; $M_{1,3}$ - масса гирь m_1 и m_3 .

Часто именно этим путем добиваются повышения точности результатов измерений.

Пример 2: Градуировка трех компонентных весов для измерения трех моментов M_x, M_y, M_z . (Рис.4.2.).

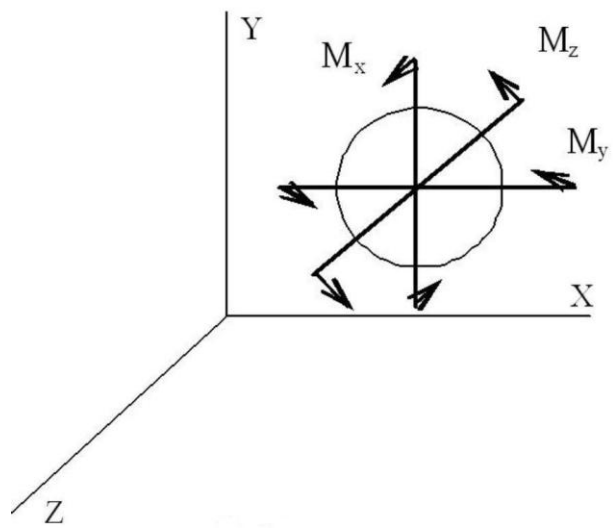


Рис. 4.2.

Весы нагружаются тремя моментами силы M_x, M_y и M_z .

Необходимо найти значения моментов \bar{M}_x, \bar{M}_y и \bar{M}_z . Они определяются из уравнений, полученных путем решения системы из шести уравнений, в которых не учитываются величины третьего и больше порядка малости:

$$\begin{aligned}\overline{M}_x &= M_x + K_y M_y + K_z M_z + K_y K_z M_y M_z \\ \overline{M}_y &= M_y + K_x M_x + P_z M_z + K_x P_z M_x M_z \\ \overline{M}_z &= M_z + Q_x M_x\end{aligned}$$

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

Пример 1. Построение градуировочной характеристики $y=f(x)$ измерительного преобразователя, когда одновременно измеряются наборы значений:

$$\begin{array}{ccccccc} X_1, & X_2, & X_3 & \dots & X_i & \dots & X_n \\ \Downarrow & \Downarrow & \Downarrow & & \Downarrow & & \Downarrow \\ Y_1, & Y_2, & Y_3 & \dots & Y_i & \dots & Y_n \end{array}$$

Пример 2. Определение температурного коэффициента сопротивления (ТКС) путем одновременного измерения сопротивления R и температуры t° , а затем определение зависимости $\alpha(t)=\Delta R/\Delta t$.

$$\begin{array}{cccc} R_1, & R_2, & \dots & R_i & \dots & R_n \\ \Uparrow & \Uparrow & & \Uparrow & & \Uparrow \\ t_1, & t_2, & \dots & t_i & \dots & t_n \end{array}$$

4.3. Интегральная и дифференциальная функции распределения случайных величин и случайных погрешностей.

Рассмотрим результат наблюдения X постоянной или так называемой детерминированной ФВ Q как случайную величину (СВ), принимающую значения X_i в различных наблюдениях.

В теории вероятностей событие, которое может произойти или не произойти, называется случайным. Количественной оценкой возможности появления данного случайного события является его вероятность. Если имеется всего n событий, а m - число возможных событий, то вероятность появления возможного события $P=m/n$. Невозможному событию соответствует вероятность 0, а возможному - 1. Наиболее универсальный способ описания СВ заключается в

нахождении их интегральных или дифференциальных функций распределения (ФР).

Интегральной функцией распределения результатов наблюдений является зависимость от величины x вероятности P того, что результат наблюдений X_i окажется меньше x . Записывается это следующим образом:

$$F(x) = P\{X \leq x\} = P\{-\infty < X \leq x\}.$$

Интегральная функция $F(x)$ обладает следующими свойствами:

- $F(x)$ - неубывающая функция.
- $F(x)$ стремится к 1 при $x \rightarrow +\infty$.
- $F(x)$ стремится к 0 при $x \rightarrow -\infty$.
- $F(x)$ - функция непрерывная, т.к. результат наблюдений в определенном интервале может принять любое значение.

Однако четвертое свойство обычно на практике не реализуется. Это обусловлено тем, что применяемые СИ имеют конечное разрешение: для стрелочного прибора - это цена деления шкалы (квант ФВ), для цифровых приборов - это цена наименьшего разряда кода. Поэтому реально функция распределения для погрешности имеет ступенчатый вид (рис. 4.3.).

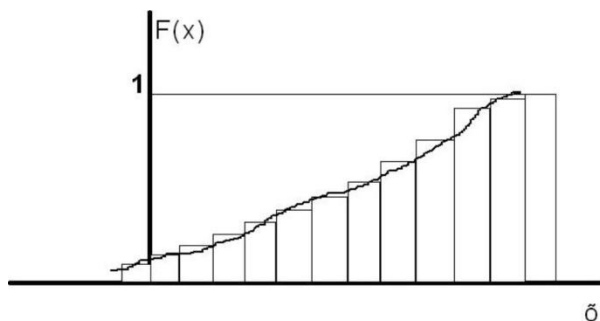


Рис. 4.3.

Несмотря на это, часто в метрологической практике интегральную функцию распределения считают непрерывной, что значительно упрощает анализ погрешностей.

Для случайной погрешности, как и для случайной величины, также имеется своя интегральная функция распределения.

$$F_{\Delta} = P\{\Delta_i \leq \Delta\} = P\{(X_i - Q) \leq (x - Q)\} = P\{X_i \leq x\}.$$

Более удобно и наглядно описывать свойство результатов наблюдений с помощью дифференциальной функции распределения, которая называется плотностью распределения. Необходимо отметить, что дифференциальные функции результатов наблюдений X и случайной погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$ совпадают, только начало координат для $\overset{\circ}{\Delta}$ располагается в нулевой точке.

$p_x(x) = dF_x(x)/dx$ - для результатов наблюдений,

$p_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}) = dF_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta})/d\overset{\circ}{\Delta}$ - для погрешности.

График дифференциальной функции распределения или кривой распределения чаще всего представляет собой симметричную функцию с максимумом в точке «Q» для результатов наблюдений (рис. 4.4.). Кривая распределения для случайной погрешности также чаще всего представляет собой симметричную функцию, но с максимумом в точке «0» (рис. 4.5.).

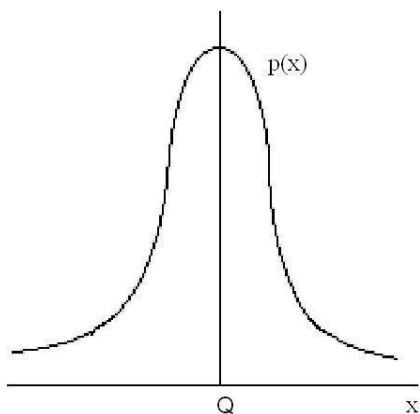


Рис. 4.4.

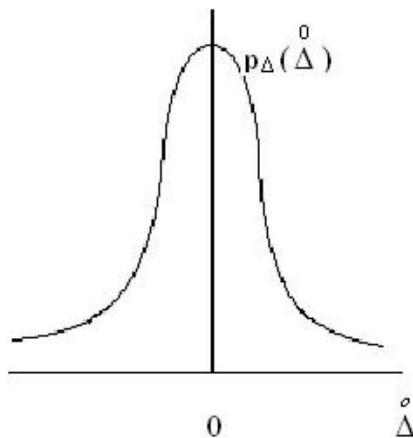


Рис. 4.5.

Бывают и несимметричные функции распределения, например, функция Релея (рис. 4.6.) или функции, не имеющие максимума (равномерная или трапецевидная) (рис.4.7., 4.8.).

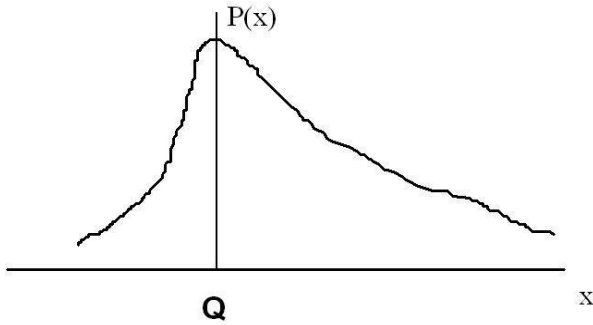


Рис. 4.6.

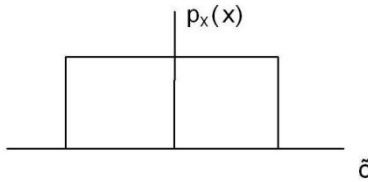


Рис. 4.7.

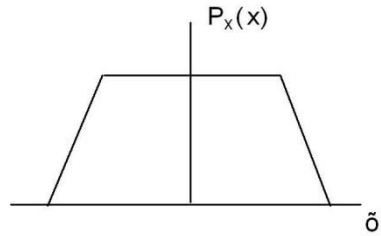


Рис. 4.8.

Интегральная функция связана с дифференциальной следующим образом:

$$F_x(x) = \int_{-\infty}^x p_x(x) dx, \text{ поскольку } F_x(+\infty) = 1, \text{ то } \int_{-\infty}^{\infty} p_x(x) dx = 1, \text{ т.е. площадь}$$

под кривой функции распределения равна 1. Это и есть так называемое условие нормировки.

Размерность плотности распределения вероятностей обратна размерности измеряемой физической величины, т.к. интегральная функция распределения является безразмерной. Используя понятие функции распределения, можно получить выражение для вероятности того, что результат наблюдений находится в полуоткрытых интервалах $[x_1, x_2]$ или $[\overset{\circ}{\Delta}_1, \overset{\circ}{\Delta}_2]$.

$$P\{x_1 < X \leq x_2\} = P\{-\infty < X \leq x_2\} - P\{-\infty < X \leq x_1\} = F_x(x_2) - F_x(x_1);$$

$$P\{\overset{\circ}{\Delta}_1 < \overset{\circ}{\Delta} \leq \overset{\circ}{\Delta}_2\} = P\{-\infty < \overset{\circ}{\Delta} \leq \overset{\circ}{\Delta}_2\} - P\{-\infty < \overset{\circ}{\Delta} \leq \overset{\circ}{\Delta}_1\} = F_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}_2) - F_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}_1).$$

Это выражение говорит о том, что вероятность попадания результата наблюдения X или случайной погрешности измерения $\overset{\circ}{\Delta}$ в заданный интервал равна разности значений интегральной функции распределения на указанных границах этого интервала. Если выразить эту вероятность через дифференциальную функцию распределения или плотность распределения вероятности, то получим:

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

$$P\{\overset{\circ}{\Delta}_1 < \overset{\circ}{\Delta} \leq \overset{\circ}{\Delta}_2\} = F_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}_2) - F_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}_1) = \int_{-\infty}^{\overset{\circ}{\Delta}_2} p_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}) d\overset{\circ}{\Delta} -$$

$$- \int_{-\infty}^{\overset{\circ}{\Delta}_1} p_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}) d\overset{\circ}{\Delta} = \int_{\overset{\circ}{\Delta}_1}^{\overset{\circ}{\Delta}_2} p_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}) d\overset{\circ}{\Delta}.$$

Т.е. вероятность попадания результата наблюдений X или случайной погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$ в заданный интервал численно равна площади под кривой плотности распределения вероятности, ограниченной границами интервала.

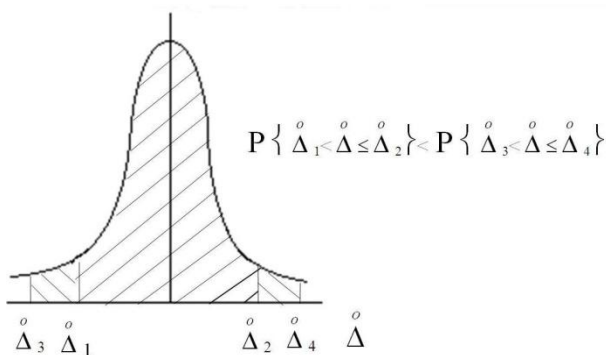


Рис. 4.9.

Произведение $p_X(x)dx$ называется элементом вероятности. В том случае, когда закон распределения плотности вероятности близок к так называемому «нормальному закону», как видно из графика дифференциальной функции распределения, наиболее вероятны

малые значения погрешностей. Вероятность появления больших погрешностей значительно меньше. Результаты наблюдений сконцентрированы вокруг истинного значения измеряемой ФВ, и по мере приближения к нему элементы вероятности возрастают. Это дает основание принять за оценку истинного значения ФВ абсциссу центра тяжести фигуры, образованной осью абсцисс и кривой плотности распределения. Эта характеристика случайной величины называется математическим ожиданием (рис.4.10).

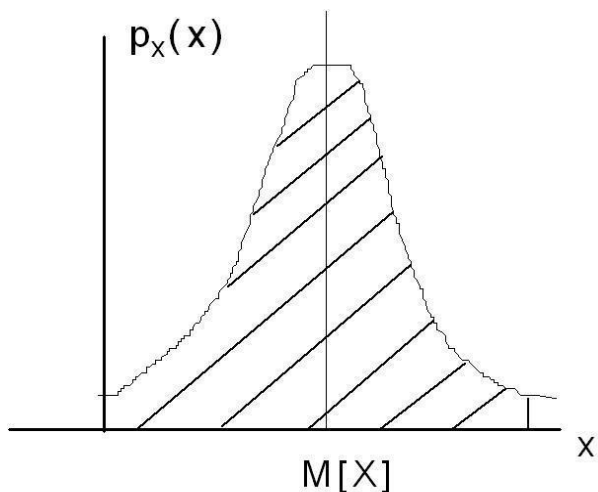


Рис. 4.10.

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

Теперь можно дать математически строгое определение случайной и систематической погрешности.

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

$$\Theta = M[X] - Q.$$

Случайной погрешностью Δ называется разность между результатом единичного наблюдения и математическим ожиданием результатов наблюдений:

$$\overset{\circ}{\Delta} = X - M[X].$$

Отсюда истинное значение измеряемой физической величины равно:

$$Q = X - \overset{\circ}{\Theta} - \overset{\circ}{\Delta}.$$

4.4. Моменты функции распределения.

Функция распределения является универсальным способом описания случайной погрешности. Однако чтобы получить ФВ необходимы трудоемкие исследования и расчеты. Поэтому в метрологической практике часто используются характеристики распределения вероятности, называемые *моментами*.

Начальный момент К-го порядка результатов наблюдений определяется следующим выражением:

$$\alpha_k[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k p_x(x) dx = M[X^k]$$

Первый начальный момент - математическое ожидание:

$$\alpha_1[X] = M[X] = m_x.$$

Центральный момент К-го порядка результатов наблюдений определяется по формуле:

$$\mu_k[X] = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_x)^k p(x) dx = M[(X - m_x)^k].$$

В теории измерений важное значение имеет 2-ой центральный момент, называемый *дисперсией* результатов наблюдений, или дисперсией случайной погрешности:

$$D[X] = D[\overset{\circ}{\Delta}] = M[(X - m_x)^2] = M[\overset{\circ}{\Delta}^2] =$$

$$= \int_{-\infty}^{\infty} (X - m_x)^2 p_x(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \overset{\circ}{\Delta}^2 p_{\Delta}(\overset{\circ}{\Delta}) d\overset{\circ}{\Delta}.$$

Дисперсия случайной погрешности является характеристикой рассеяния результатов наблюдений относительно математического ожидания.

Дисперсия имеет размерность квадрата измеряемой физической величины, поэтому значительно чаще в метрологической практике пользуются средним квадратическим отклонением (СКО) результатов наблюдений, являющимся квадратным корнем из дисперсии: $\sigma = \sqrt{D[X]}$.

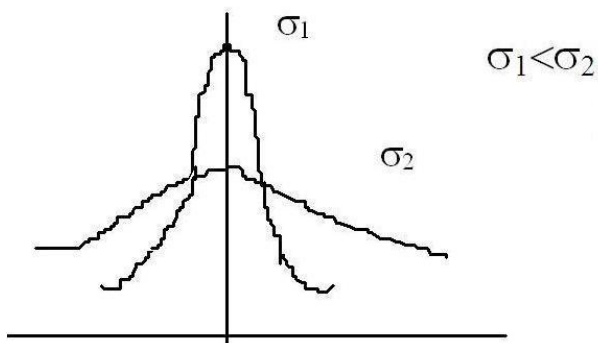


Рис. 4.11.

Плотность вероятности результатов наблюдений при различных значениях СКО погрешности имеет следующий вид:

Чем больше σ , тем более пологой и «расплывчатой» становится функция распределения. Характеристикой асимметрии функции распределения является третий центральный момент - $\mu_3 [X]$. Если ФР симметричная, то все нечетные центральные моменты равны «0» - $\mu_1 = \mu_3 = 0$. Для удобства в метрологической практике вводят безразмерную характеристику асимметрии: ρ_k - коэффициент асимметрии.

$$\rho_k = \mu_3[\overset{\circ}{\Delta}] / \sigma_x^3.$$

Если $\rho_k=0$ - ФР - симметричная, если $\rho_k<0$, то ее максимум находится в положительной области, если $\rho_k>0$ - в отрицательной (см. рис. 4.12.).

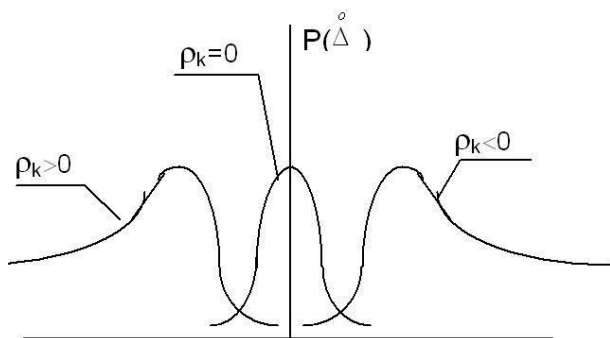


Рис. 4.12.

Для определения плосковершинности или островершинности плотности распределения вероятности случайной погрешности служит 4-й центральный момент $\mu_4[x]$. Свойство плосковершинности описывают с помощью эксцесса - безразмерной характеристики, которая определяется следующим выражением: $E_x=(\mu_4[\overset{\circ}{\Delta}]/\sigma^4(\overset{\circ}{\Delta}))-3$. Число 3 вычитается из дроби потому, что наиболее распространенной в практике измерений функцией распределения плотности вероятности является распределение по нормальному закону или функция Гаусса.

Для нормального закона 4-й центральный момент $\mu_4[\overset{\circ}{\Delta}]=3\sigma^4(\overset{\circ}{\Delta})$. Т.е. для нормального закона распределения $E_x=0$. Для более плосковершинного закона распределения $E_x<0$, для более островершинного - $E_x>0$.

Моменты распределения используются для идентификации закона распределения результатов наблюдения или их случайной погрешности. В теории и практике наиболее часто встречаются и используются нормальное и равномерное распределение.

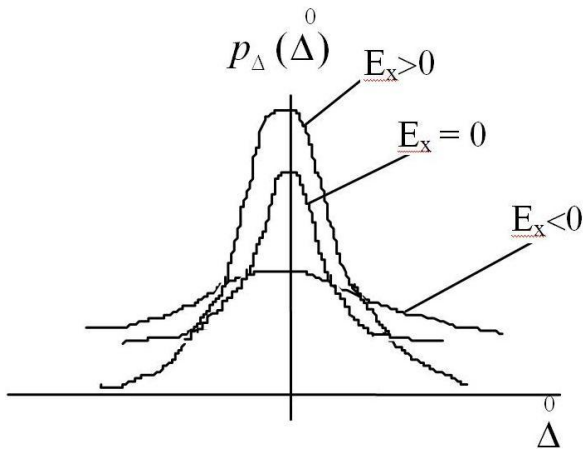


Рис. 4.13.

4.5. Равномерный закон распределения.

Дифференциальная функция равномерного распределения случайной величины и случайной погрешности имеет вид:

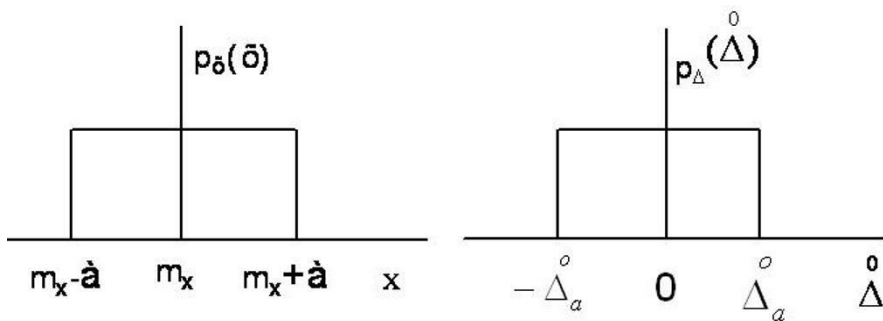


Рис. 4.14.

Область определения плотности вероятности или дифференциальной функции равномерного распределения следующая:

$$P_x = \begin{cases} 0, & \text{если } -\infty < X < m_x - a \\ 1/2a, & \text{если } m_x - a \leq X \leq m_x + a, \\ 0, & \text{если } m_x + a < X < +\infty \end{cases}$$

Интегральная функция равномерного закона распределения выглядит следующим образом:

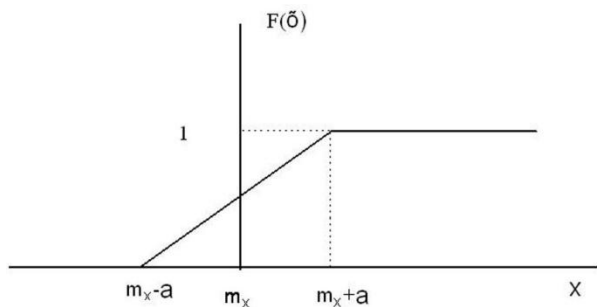


Рис. 4.15.

Значения интегральной функции следующие:

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

Числовые характеристики моментов равномерного распределения случайной погрешности $\overset{\circ}{\Delta}$ следующие:

$$M\left[\overset{\circ}{\Delta}\right] = 0 - \text{математическое ожидание,}$$

$$D\left[\overset{\circ}{\Delta}\right] = \frac{a^2}{3} - \text{дисперсия,}$$

$$\sigma(\overset{\circ}{\Delta}) = \frac{a}{\sqrt{3}} - \text{среднее квадратичное отклонение,}$$

$$\rho_k = \frac{\mu_3 \cdot \left[\overset{\circ}{\Delta}\right]}{\sigma_{\Delta}^3} = 0 - \text{коэффициент асимметрии,}$$

$$E_x = \frac{\mu_4 \left[\overset{0}{\Delta} \right]}{\sigma_{\Delta}^4} - 3 = -1,2 - \text{эксцесс.}$$

4.6. Нормальный закон распределения.

Плотность вероятности или дифференциальная функция распределения результатов наблюдений, подчиняющихся нормальному закону, описывается следующей формулой:

$$p_x(x) = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right] - \text{для результатов наблюдений,}$$

$$p_{\Delta}(\overset{0}{\Delta}) = \frac{1}{\sigma_{\Delta} \sqrt{2\pi}} \cdot \exp \left(-\frac{\overset{0}{\Delta}^2}{2\sigma_{\Delta}^2} \right) - \text{для случайной погрешности.}$$

Следует помнить, что $\sigma_x = \sigma_{\Delta}$!

Вероятность попадания результата наблюдения в заданный интервал $[x_1, x_2]$ равна:

$$P \left\{ x_1 < X \leq x_2 \right\} = \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx = \frac{1}{\sigma_x \sqrt{2\pi}} \int_{x_1}^{x_2} \exp \left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma_x^2} \right] dx.$$

Производя замену переменных

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

и их подстановку, получим:

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

В теории вероятности и метрологии для определения вероятности попадания наблюдений в некоторый интервал применяется так называемая нормированная функция Лапласа

$$\Phi(Z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt,$$

которая табулирована, и эти таблицы приведены практически во всех литературных источниках по теории вероятности и метрологии. Используя функцию Лапласа, можно следующим образом определить вероятность попадания результата наблюдения X в интервал (x_1, x_2) :

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

При рассмотрении этой формулы следует иметь в виду, что:

$$\Phi(-Z) = 1 - \Phi(Z).$$

Широкое распространение нормального закона в практике объясняется тем, что распределение случайной погрешности формируется под воздействием достаточно большого числа случайных независимых факторов, каждый из которых оказывает лишь незначительное воздействие по сравнению с суммарным действием всех остальных факторов. Это явление описывается центральной предельной теоремой (часто называемой теоремой Лапласа).

Моменты функции распределения случайной погрешности $\overset{0}{\Delta}$, распределенной по нормальному закону:

$$M[\overset{0}{\Delta}] = m_x = 0; D[\overset{0}{\Delta}] = \sigma^2 = \sigma_{\Delta}^2;$$

$$\rho_k = \frac{\mu_3\left[\overset{0}{\Delta}\right]}{\sigma_{\Delta}^3} = 0; E_x = \frac{\mu_4\left[\overset{0}{\Delta}\right]}{\sigma_{\Delta}^4} - 3 = 0.$$

4.7. Точечная и интервальная оценки истинного значения измеряемой физической величины.

Все бесконечное число значений физической величины называется генеральной совокупностью. На практике же всегда имеют дело с ограниченным числом наблюдений или измерений, т.е. имеют дело с *выборкой* из генеральной совокупности. Таким образом, оценку точности измерений проводят по ограниченному, хотя иногда и довольно большому, числу наблюдений. В результате получают одно число. Это называется точечной оценкой. Задача получения точечных оценок результатов измерений и СКО случайных погрешностей является частным случаем статистической задачи нахождения оценки параметров функции распределения случайной величины на основании выборок - т.е. ряда значений, принимаемых этой случайной величиной в ограниченном числе n независимых опытов. Независимо от закона распределения случайной величины, оцениваемыми параметрами является математическое ожидание и СКО функции распределения. Сами же формулы для оценок имеют различный вид в зависимости от закона распределения плотности вероятности. Для нормального закона в формулы для дифференциальной функции распределения математического ожидания (m_x) и СКО (σ_x) входят в явном виде, а для равномерного распределения определяются из соотношений:

$$\begin{aligned} b &= m_x + \sigma_x \sqrt{3} & m_x &= \frac{a + b}{2}, \\ a &= m_x - \sigma_x \sqrt{3} & \sigma_x &= \frac{b - a}{2\sqrt{3}}. \end{aligned}$$

Если есть параметр A , то его оценка \hat{A} называется точечной, если она выражается одним числом.

Любая точечная оценка, вычисленная на основании опытных данных, будучи их функцией, сама является случайной величиной с распределением, зависящим от трех факторов:

- закона распределения исходной случайной величины;
- самого оцениваемого параметра;
- числа опытов n .

К оценкам предъявляется три требования:

1. Состоятельность. Оценка считается состоятельной, если с увеличением числа опытов n она приближается (т.е. сходится по вероятности) к значениям оцениваемого параметра, т.е.

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{\hat{A}=A\}=1.$$

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

$$M[\hat{A}]=A.$$

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

Что значит *разные оценки* одного и того же параметра?

Предположим, что имеется упорядоченный или вариационный ряд результатов наблюдений случайной величины X :

$$X_1^*, X_2^*, \dots, X_i^*, \dots, X_n^*.$$

Вариационный ряд - это такой ряд, в котором $X_1^* \leq X_2^*, \dots, X_i^* \leq X_{i+1}^* \leq X_n^*$.

Можно провести оценки различными методами: по медиане, по размаху, по среднему арифметическому и др.

Что в данном случае понимается под термином «медиана»?

Медиана $Me[X]$ - это центральное среди результатов наблюдений значение случайной величины в упорядоченном ряду результатов наблюдений. В случае, когда имеется четное число наблюдений $Me[X]=0.5(X_{(n/2)+1}+X_{n/2})$.

В случае если n нечетное число: $Me[X]=X_{(n+1)/2}$.

Например: при $n=3$, $Me[X]=X_2$, при $n=4$, $Me[X]=0.5(X_2+X_3)$.

Оценка по размаху: $\hat{X} = \frac{X_1 + X_n}{2}$.

Оценка по среднему арифметическому: $\hat{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

На практике не всегда удается получить оценки параметров функций распределения случайной величины, удовлетворяющие всем трем требованиям: состоятельности, несмещенности и эффективности.

Способы получения оценки зависят от закона распределения случайной величины. Для случайных величин, распределенных по различным законам, оценки параметров функций распределения проводят по различным формулам. Существуют различные методы

получения оценок. Наиболее распространенным является метод максимального правдоподобия. Введем понятие функции правдоподобия, которая зависит от самих результатов наблюдений. Если X_i результат наблюдений, то функция правдоподобия:

$$q(\sigma_x) = \prod_{i=1}^n P_x(X_i, Q, \sigma_x), \text{ где}$$

$$\prod_{i=1}^n P_x(X_i, Q, \sigma_x) - \text{произведение.}$$

Для упрощения вычислений пользуются логарифмической функцией

$$\text{правдоподобия } L(X_1, X_2, \dots, X_n, Q, \sigma_x) = \prod_{i=1}^n \ln P_x(X_i, Q, \sigma_x).$$

Оценки максимального правдоподобия получают решением системы уравнений в частных производных:

$$\left[\frac{\partial L}{\partial Q} \right]_{Q=\hat{Q}, \sigma_x=\hat{\sigma}_x} = 0$$

$$\left[\frac{\partial L}{\partial \sigma_x} \right]_{Q=\hat{Q}, \sigma_x=\hat{\sigma}_x} = 0$$

Для нормального распределения случайных величин или случайных погрешностей оценки максимального правдоподобия следующие:

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

\hat{Q} - точечная оценка максимального правдоподобия.

Однако оценка дисперсии, полученная таким образом, не является несмещенной. Для получения несмещенной оценки дисперсии случайной погрешности пользуются следующей формулой:

$$D = S_x^2 = \frac{1}{n-1} \sum (X_i - \bar{X})^2, \text{ где } \bar{X} = \hat{Q}.$$

Тогда оценка СКО случайной погрешности, полученная методом максимального правдоподобия, определяется следующим образом:

$$\hat{\sigma}_x = S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}},$$

где $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i$ - несмещенная оценка генеральной средней, X_i - оценка математического ожидания результатов наблюдений или результат наблюдений.

Условимся в дальнейшем обозначать оценку математического ожидания и СКО через \bar{X} и S_x . Иногда S_x называют стандартом. Для равномерного закона распределения погрешностей

$$\hat{Q} = \frac{X_1^* + X_n^*}{2}; \quad \hat{\sigma} = \frac{X_n^* - X_1^*}{2\sqrt{3}},$$

где $X_1^*, X_2^*, \dots, X_i^*, \dots, X_n^*$ - члены упорядоченного ряда наблюдений (упорядоченная выборка, $X_i^* \leq X_{i+1}^*$).

Достоинствами метода максимального правдоподобия является то, что полученные оценки:

асимптотически несмещенные (при $n \rightarrow \infty$)

асимптотически эффективные

асимптотически нормально распределенные.

Т.е. если \hat{A} - оценка максимального правдоподобия параметра A , то при достаточно большом числе наблюдений ($n > 25$) эта оценка может считаться нормально распределенной при любом распределении результатов наблюдений, причем: при $n \rightarrow \infty$ $P\{\hat{A} = A\} = 1$, т.е. эта оценка состоятельная.

Пример: из генеральной совокупности извлечена выборка объемом $n = 50$.

Случайная величина X_i принимает значения: 2, 5, 7, 10; Частность n_i : 16, 12, 8, 14;

$\sum_{i=1}^4 n_i = 50$. Найти несмещенную оценку генеральной средней.

Несмещенной оценкой генеральной средней является выборочная средняя \bar{X}_B .

$$\bar{X}_B = \frac{\sum_{i=1}^n n_i \cdot x_i}{n} = \frac{16 \cdot 2 + 12 \cdot 5 + 8 \cdot 7 + 14 \cdot 10}{50} = 5,76.$$

Таким образом, несмещенная оценка генеральной средней равна 5,76. Интервальные оценки параметров функций распределения погрешностей или результатов наблюдений получают путем определения интервалов, в границах которых с определенной вероятностью находятся истинные значения оцениваемых параметров. Такой интервал называется доверительным, а соответствующая вероятность - доверительной вероятностью.

Доверительный интервал - интервал значений случайной погрешности, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результатов измерений. Граница доверительного интервала называют доверительными границами - верхней и нижней.

Если результаты наблюдений или погрешность результата наблюдений распределены по нормальному закону с известным СКО ($\sigma_x = \sigma_{\Delta}$), то доверительная вероятность нахождения истинного значения измеряемой величины Q в доверительном интервале $[X - t_p \sigma_x, X + t_p \sigma_x]$ определяется выражением:

$$P\{(X - t_p \sigma_x) < Q \leq (X + t_p \sigma_x)\} = \Phi(t_p) - \Phi(-t_p),$$

где $\Phi(t_p)$ - нормированная интегральная функция нормального распределения, но поскольку $\Phi(z) = 1 - \Phi(-z)$, т.е. $\Phi(-z) = 1 - \Phi(z)$, то

$$P = \{X - t_p \sigma_x < Q \leq X + t_p \sigma_x\} = 2\Phi(t_p) - 1.$$

Половина доверительного интервала $t_p \sigma_x$ называется доверительной границей случайного отклонения результатов наблюдений, соответствующего доверительной вероятности P. Для определения доверительной границы задаются доверительной вероятностью P^* (например, $P^* = 0,95$ или $P^* = 0,997$).

Затем по формулам: $2\Phi(t_p)-1=P^*$ определяют значение $\Phi(t_p)$ интегральной функции распределения для нормированного нормального распределения

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

Определив $\Phi(t_p)$, по таблицам находят значение t_p , которое зависит от числа измерений, доверительной вероятности и степени свободы. После этого вычисляют доверительные границы.

$\Delta_B = t_p \cdot \sigma_x$ и $\Delta_H = -t_p \cdot \sigma_x$, где символами «В», «Н» обозначаются верхняя и нижняя границы доверительного интервала, соответственно.

Проведение многократных наблюдений позволяет уменьшить доверительный интервал случайной погрешности, поскольку сама погрешность уменьшается в \sqrt{n} раз. При n измерениях вероятность

$$P \left\{ \bar{X} - t_p \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} < Q \leq \bar{X} + t_p \cdot \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \right\} = 2\Phi(t_p) - 1,$$

где $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum X_i$ - оценка математического ожидания результатов наблюдений по числу наблюдений n .

Наблюдение при измерении - операции, проводимые при измерении и имеющие целью своевременно и правильно провести отсчет показаний средства измерений.

Измерение - совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины с ее единицей с целью получения значения этой величины (или информации о ней) в форме, наиболее удобной для дальнейшего использования.

Доверительный интервал, полученный по результатам многократных наблюдений, в \sqrt{n} раз меньше интервала, вычисленного по результатам однократного наблюдения измеряемой величины. На этом принципе основан метод снижения случайных погрешностей измерений, т.е. повышения точности результатов измерений. В принципе, увеличение n (числа наблюдений) можно получить сколь угодно малое значение случайной погрешности измерений. Однако на практике, как правило, это весьма сложно (иногда просто невозможно) сделать из-за значительного увеличения времени на

проведение измерений. Особо сложно это сделать в быстро изменяющихся процессах. Поэтому необходимо выбирать минимально необходимое число наблюдений для обеспечения такой случайной погрешности, которая была бы не больше допустимой, т.е. $\Delta < \Delta_{\text{доп}}$. Это число n можно определить из их соотношения

$$n \geq \frac{t_p^2 \cdot \sigma_x^2}{\Delta_{\text{доп}}^2}$$

Рассмотрим случай, когда распределение результатов наблюдений соответствует нормальному закону, а дисперсия случайной погрешности σ_x^2 неизвестна. Это наиболее часто встречающееся на практике случай. В этих условиях пользуются следующим отношением:

$$t_\alpha = \frac{\bar{x} - M \left\{ \bar{x} \right\}}{S_x} = \frac{\bar{X} - Q}{S_x} = \sqrt{n} \cdot \frac{X - Q}{S_x},$$

где S_x - несмещенная точечная оценка СКО, \bar{X} - точечная оценка математического ожидания результатов наблюдений.

Плотность распределения этой дроби описывается дифференциальной функцией распределения Стьюдента:

$$P \left\{ \left| \bar{X} - Q \right| < t_p \frac{S_x}{\sqrt{n}} \right\} = 2 \int_0^{t_p} S(t, k) dt,$$

где $S(t, k)$ - функция распределения Стьюдента, k - число степеней свободы.

Для одной группы измерений $k=(n-1)$, для j групп по n измерений в каждой группе $k=j(n-1)$. При интерполяции экспериментальных данных линейной зависимостью $y=ax+b$ по n точкам $k=(n-2)$, при интерполяции квадратичной зависимостью $y=ax^2+bx+c$ по n точкам $k=(n-3)$.

Значения t_α приводятся во всех соответствующих справочниках и в ГОСТ 8.207. Этот коэффициент t_α называется коэффициентом

Стьюдента. В этом случае доверительные границы оценки математического ожидания результатов наблюдения определяются по следующим формулам:

$$\Delta_B^0 = t_\alpha \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}}, \quad \Delta_H^0 = -t_\alpha \cdot \frac{S_x}{\sqrt{n}}.$$

Таким образом, при интервальной оценке результат не может быть выражен одним числом. В процессе измерений получают лишь среднее значение измеряемой величины и границы доверительного интервала, внутри которого находится эта измеряемая величина с принятой доверительной вероятностью. Можно сказать, что получают какую-то полосу, внутри которой находятся возможные значения измеряемой величины. Эту полосу называют «дорожкой погрешности» возможных значений Q физической величины с определенной вероятностью.

Рассмотрим пример.

Найти доверительный интервал для оценки с доверительной вероятностью (надежностью) $P=0,95$ неизвестного математического ожидания параметра A нормально распределенной случайной величины X генеральной совокупности, если даны генеральное среднее квадратическое отклонение $\sigma_x=5$, выборочная средняя $\bar{X}_b=14$ и объем выборки $n=25$.

Надо найти доверительный интервал, в котором находится значение параметра A с заданной доверительной вероятностью ($P=0,95$):

$$\bar{X}_b - t_a \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} < A < \bar{X}_b + t_a \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}};$$

Кроме значения t все величины даны. Найдем t_a .

t_a определяется по таблице значений функции Лапласа.

$$2\Phi(t)=0.95; \quad \Phi(t)=0.475.$$

(в таблице $\Phi(x)$ и x) $t_a=1,96$. Подставив значение t_a , получим

$$14 - 1,96 \frac{5}{\sqrt{25}} < A < 14 + 1,96 \frac{5}{\sqrt{25}};$$

$$12,04 < A < 15,96$$

$$P=0,95; \quad t_a=1,96; \quad P=0,99; \quad t_a=2,564.$$

4.8. Композиция распределения.

Случайная погрешность зависит от ряда факторов, которые обуславливают ряд составляющих этой погрешности. Составляющие случайных погрешностей, в свою очередь, являются случайными величинами и все операции с ними аналогичны операциям с такими величинами. Если есть ряд составляющих $\overset{0}{\Delta}_1, \overset{0}{\Delta}_2, \dots, \overset{0}{\Delta}_m$ суммарной случайной погрешности $\overset{0}{\Delta}$, то она определяется следующим выражением:

$\overset{0}{\Delta} = \overset{0}{\Delta}_1 * \overset{0}{\Delta}_2 \dots * \overset{0}{\Delta}_i * \dots * \overset{0}{\Delta}_m$, где символ «*» обозначает суммирование погрешностей по правилам случайных величин.

Составляющие случайной погрешности $\overset{0}{\Delta}_1, \overset{0}{\Delta}_2, \dots, \overset{0}{\Delta}_m$ могут распределяться по различным законам: нормальному, равномерному, по треугольному и др. Однако, хотя каждая из составляющих $\overset{0}{\Delta}_1, \overset{0}{\Delta}_2, \dots, \overset{0}{\Delta}_m$ распределяется по своему закону, закон распределения суммарной случайной погрешности $\overset{0}{\Delta}$ зависит от следующих трех факторов:

1. От закона распределения самих составляющих $\overset{0}{\Delta}_1, \overset{0}{\Delta}_2, \dots, \overset{0}{\Delta}_m$
2. От числа составляющих m .
3. От значений среднего квадратического отклонения дифференциальной функции распределения составляющих $\overset{0}{\Delta}_1, \overset{0}{\Delta}_2, \dots, \overset{0}{\Delta}_m$.

В том случае, когда случайная погрешность включает ряд составляющих (не менее двух), ее функция распределения является композицией функций распределения составляющих. Т.е., композиция - это плотность распределения суммы независимых случайных величин [6].

4.9. Законы распределения случайных погрешностей.

В метрологической практике для описания случайных погрешностей используют ограниченный набор стандартных аппроксимирующих

функций распределения (нормальную, равномерную, по треугольнику, по трапеции).

Нормальную функцию распределения имеют следующие случайные величины:

1. Флуктуационные погрешности разного рода.
2. Случайные погрешности средств измерений.
3. Погрешности, складывающиеся из достаточно большого числа (можно считать, что более 5) независимых составляющих при отсутствии доминирующей составляющей.

Равномерные функции распределения имеют:

1. Погрешности результатов наблюдений, округленных в ближайшую сторону отсчетов с неточностью целого (или долевого) деления шкалы.
2. Погрешность приближенных вычислений с округлением до ближайшей значащей цифры.
3. Погрешности регулировки в допустимых пределах $\pm a$.
4. Люфтовые погрешности.
5. Погрешности от изменения температуры в допустимых пределах.
6. Вариация показаний измерительных приборов.

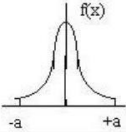
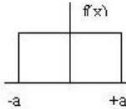
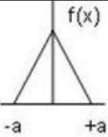
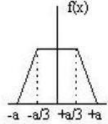
Треугольные функции распределения (по Симпсону) имеют погрешности измерений длины, угла, интервала времени по двум отсчетам (начало-конец).

Аналитические зависимости, области определения, соотношения между параметрами и графики наиболее часто используемых законов распределения представлены в таблице 4.1.

Наиболее распространенной функцией распределения случайной погрешности является нормальная функция (функция Гаусса). При обработке результатов наблюдений при априорно неизвестном законе распределения случайных погрешностей проводят проверку нормальности распределения результатов наблюдений. Для этого используют методы проверки статистических гипотез. Поскольку проверка статистических гипотез основывается на опытных данных, то при принятии решения всегда возможны ошибки. Когда отвергается в действительности верная гипотеза, то совершается ошибка первого рода. Вероятность ошибки первого рода называется уровнем значимости q :

$q=1-\alpha$, где α - вероятность правильного принятия верной гипотезы.

Таблица 4.1

Закон распределения	Аналитическая зависимость	Область определения	Соотношения между параметрами	График функции
Нормальный	$f(x) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$	$ x \leq a$	$a = 3\sigma$	
Равномерный	$f(x) = \frac{1}{2 \cdot a}$	$ x \leq a$	$a = 1,73\sigma$	
Треугольный	$f(x) = \frac{a - x }{a^2}$	$ x \leq a$	$a = 2,45\sigma$	
Трапециевидный	$f(x) = \begin{cases} \frac{9 \cdot (a - x)}{8 \cdot a^2} \\ \frac{3}{4 \cdot a} \end{cases}$	$\frac{a}{3} \leq x \leq a$ $ x \leq \frac{a}{3}$	$a = 2,32\sigma$	

Когда принимается в действительности неверная гипотеза, то совершается ошибка второго рода. В общем случае вычислить ее вероятность нельзя. Однако при уменьшении вероятности ошибки первого рода вероятность ошибки второго рода увеличивается. Поэтому не имеет смысла выбирать слишком низкий уровень значимости q . Обычно на практике q принимают в пределах (1...5)%. Критерии проверки статистических гипотез приводятся в справочной литературе по теории вероятностей и в нормативных документах по метрологии, в частности, в ГОСТ 8.207 «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения».

4.10. Суммирование составляющих погрешности измерений.

Как уже указывалось ранее, погрешности измерения обуславливаются различными факторами. В связи с этим суммарная случайная погрешность в общем случае может иметь несколько составляющих. Эту суммарную случайную погрешность можно оценить, проведя

многократные наблюдения. Однако на практике не всегда можно провести такую серию многократных наблюдений. В этом случае предварительно оценивают значения математического ожидания и СКО каждой составляющей погрешности, а оценку суммарной погрешности находят расчетным путем. Рассмотрим это на примере. Пусть имеется две составляющие случайной погрешности измерения. Обозначив индексами «1» и «2» первую и вторую составляющие случайной погрешности, выразим их математическое ожидание и СКО следующим образом:

$$M[\Delta_1] = \Delta_{c_1}, \quad M[\Delta_2] = \Delta_{c_2},$$

$$\sigma_{\Delta_1} = \sigma(\Delta_1), \quad \sigma_{\Delta_2} = \sigma(\Delta_2);$$

В этом случае математическое ожидание суммарной погрешности равно:

$$M[\Delta_{\Sigma}] = M[\Delta_1 + \Delta_2] = M[\Delta_1] + M[\Delta_2] = \Delta_{c_1} + \Delta_{c_2}.$$

Дисперсия суммарной погрешности определяется следующим образом:

$$D_{\Delta_{\Sigma}} = \sigma_{\Delta_{\Sigma}}^2 = D[\Delta_1 + \Delta_2] = M[(\Delta_1 + \Delta_2)^2] - M[\Delta_1 + \Delta_2]^2 = M[\Delta_1^2 + \Delta_2^2 + 2\Delta_1\Delta_2] - M[\Delta_1 + \Delta_2]^2$$

$$= M[\Delta_1^2] + M[\Delta_2^2] + 2M[\Delta_1\Delta_2] - \sigma^2(\Delta_1) - \sigma^2(\Delta_2) - 2M[\Delta_1\Delta_2].$$

Математическое ожидание произведения двух случайных величин (в данном случае - двух случайных погрешностей) называется корреляционным моментом.

Корреляционный момент определяет степень «тесноты» линейной зависимости между погрешностями. Вместо корреляционного момента часто пользуются коэффициентом корреляции $r_{\Delta_1 \Delta_2}$:

$$r_{\Delta_1 \Delta_2} = \frac{M[\Delta_1 \Delta_2]}{\sigma(\Delta_1) \cdot \sigma(\Delta_2)}.$$

Пользуясь коэффициентом корреляции, можно записать выражение для дисперсии суммарной погрешности:

$$\sigma_{\Delta_{\Sigma}}^2 = \sigma^2\left(\overset{0}{\Delta_1}\right) + \sigma^2\left(\overset{0}{\Delta_2}\right) + 2r_{\Delta_1\Delta_2} \cdot \sigma\left(\overset{0}{\Delta_1}\right) \cdot \sigma\left(\overset{0}{\Delta_2}\right).$$

Если погрешности Δ_1 и Δ_2 некоррелированные, то $r_{\Delta_1\Delta_2} = 0$, а дисперсия суммарной погрешности определяется по формуле:

$$\sigma_{\Delta_{\Sigma}}^2 = \sigma^2\left(\overset{0}{\Delta_1}\right) + \sigma^2\left(\overset{0}{\Delta_2}\right).$$

В случае, когда СКО составляющих Δ_1 и Δ_2 неизвестно, то оценки СКО суммарной погрешности определяют по формуле:

$$S_{\Delta_{\Sigma}} = \sqrt{S_{\Delta_1}^2 + S_{\Delta_2}^2 + 2 \cdot \hat{r}_{\Delta_1\Delta_2} \cdot S_{\Delta_1} \cdot S_{\Delta_2}},$$

где - $S_{\Delta_1}, S_{\Delta_2}$ - оценки СКО составляющих Δ_1 и Δ_2 ,

$$S_{\Delta_1} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta_{1_i} - \bar{\Delta}_1)^2}{n-1}}; \quad \bar{\Delta}_1 = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n \Delta_{1_i},$$

$$S_{\Delta_2} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (\Delta_{2_i} - \bar{\Delta}_2)^2}{n-1}}; \quad \bar{\Delta}_2 = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n \Delta_{2_i},$$

$$\hat{r}_{\Delta_1\Delta_2} = \frac{1}{S_{\Delta_1} \cdot S_{\Delta_2}} \cdot \sum_1^n (\Delta_{1_i} - \bar{\Delta}_1) (\Delta_{2_i} - \bar{\Delta}_2);$$

Если $r_{\Delta_1\Delta_2} > 0$, то Δ_1 возрастает при увеличении Δ_2 .

Если $r_{\Delta_1\Delta_2} < 0$, то Δ_1 уменьшается при увеличении Δ_2 .

Если $r_{\Delta_1\Delta_2} = +1$, то СКО суммарной погрешности определяется как сумма СКО первой и второй составляющей. $\sigma_{\Sigma} = \sigma_{\Delta_1} + \sigma_{\Delta_2}$.

Если $r_{\Delta_1\Delta_2} = -1$, то СКО суммарной погрешности определяется, как разность СКО первой и второй составляющих; $\sigma_{\Sigma} = \sigma_{\Delta_1} - \sigma_{\Delta_2}$.

Если суммарная погрешность имеет m составляющих, то ее дисперсия равна:

$$\sigma_{\Delta_{\Sigma}}^2 = \sum_{j=1}^m \sigma_{\Delta_j}^2 + 2 \sum_{\substack{k=1 \\ j=1}}^m r_{\Delta_k\Delta_j} \cdot \sigma_{\Delta_k} \cdot \sigma_{\Delta_j}.$$

Глава 5. Обработка результатов измерений.

5.1. Исключение систематических погрешностей

Конечной задачей обработки результатов любых измерений является получение оценки истинного значения измеряемой физической величины Q и погрешности измерения при известной доверительной вероятности.

Причем оценка должна быть состоятельной, несмещенной и эффективной. Как уже было сказано выше, оценка является состоятельной если при n , стремящимся к бесконечности, оценка стремится к истинному значению ФВ, несмещенной - математическое ожидание равно оцениваемому параметру, эффективной - ее дисперсия меньше любой, получаемой другим способом.

На первом этапе обработки результатов измерений оценивают наличие промахов (или грубых погрешностей). Промах - случайная погрешность результата отдельного наблюдения, которая для данных условий резко отличается от отдельных результатов этого же ряда.

Погрешность может считаться промахом, если она превышает 3σ .

Затем проводится анализ наличия систематических погрешностей в ряде измерений X'_1, X'_2, \dots, X'_n , их обнаружение и исключение из результатов наблюдений. Получается исправленный ряд результатов наблюдений: X_1, X_2, \dots, X_n .

Таким образом, исправленный ряд наблюдений - ряд, из которого исключены систематические погрешности.

Систематические погрешности могут быть классифицированы в зависимости от:

- причин их появления
- характера их проявления в процессе измерений.

По характеру проявления систематические погрешности подразделяются на постоянные и переменные.

Постоянные систематические погрешности возникают при неправильной установке начала отсчета, неправильной градуировке и настройке СИ.

Они остаются неизменными при повторных наблюдениях измеряемой физической величины. В связи с этим, если они возникли, их трудно обнаружить.

Среди переменных систематических погрешностей выделяют прогрессирующие, т.е. монотонно убывающие или возрастающие и периодические. Систематические погрешности обычно трудно обнаружить.

Как уже отмечалось, результаты наблюдений, содержащие систематические называются неисправленными, они обозначаются буквами со штрихами:

$$X'_1, X'_2, \dots, X'_i, \dots, X'_n.$$

Вычисленное среднее арифметическое значение неисправленных результатов и отклонений от него результатов наблюдений V' являются также не исправленными:

$$\bar{X}' = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n X'_i, \quad V_i = X_i - X.$$

Поскольку неисправленные результаты наблюдений содержат систематическую погрешность, то их математическое ожидание не совпадает с истинным значением измеряемой физической величины Q , т.е. оценка \bar{X}' является смещенной.

Действительно:

$$\begin{aligned} M \left[\bar{X}' \right] &= \frac{1}{n} \sum_1^n X'_i = \frac{1}{n} \sum_1^n (X_i + \Theta_i) = \frac{1}{n} \sum X_i + \frac{1}{n} \sum \Theta_i = \\ &= M \left[X_i \right] + \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n \Theta_i = Q + \Theta; \end{aligned}$$

$\Theta = M \left[X_i \right] - Q = \frac{1}{n} \sum \Theta_i$ - систематическая погрешность результата измерения.

Случайные отклонения V_i исправленных и неисправленных результатов наблюдений отличается:

$$V'_i - V_i = (X'_i - \bar{X}') - (X_i - \bar{X}) = (X'_i - X_i) - (\bar{X}' - \bar{X}) = \Theta_i - \Theta$$

Если систематическая погрешность постоянна, т.е. $\Theta_i = \Theta$, то $V_i' = V_i$ и неисправленные отклонения могут быть использованы для оценки дисперсии ряда наблюдений (или СКО).

В противном случае необходимо предварительно исправлять результаты наблюдений, вводя в них поправки: $\beta_i = -\Theta_i$, т.е. получают исправленный результат $X_i = X_i' + \beta_i$.

Т.о., для нахождения исправленного среднего значения необходимо обнаружить систематическую погрешность и исключить ее путем введения поправок.

Некоторые способы обнаружения систематических погрешностей.

Постоянные систематические погрешности не влияют на значение случайных отклонений результатов наблюдений от средних значений. Поэтому никакая математическая обработка результатов наблюдений не позволяет их обнаружить. Анализ таких погрешностей возможен только на основании некоторых априорных знаний об этих погрешностях.

Прогрессирующие систематически погрешности могут быть обнаружены при помощи построения графика последовательности неисправленных результатов наблюдений или их отклонений от среднего значения.

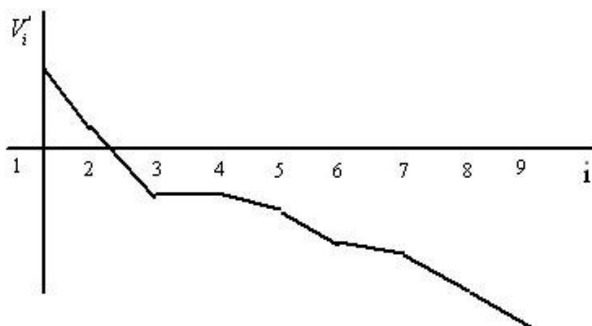


Рис. 5.1.

V_i' – отклонения неисправленных результатов наблюдений.

Систематические погрешности, изменяющиеся в процессе измерения, могут быть обнаружены статистическими методами:

1. Проверка статистической подконтрольности.

Для этого экспериментальные данные должны быть представлены несколькими группами результатов наблюдений.

Недопустимо большое рассеивание между групповыми средними или групповыми дисперсиями указывает на наличие систематических смещений между группами. Эта проверка проводится с помощью статистических критериев Аббе и Бартлетта.

Рассмотрим сущность критерия Аббе.

Первым шагом результаты измерения выстраиваются в исправленный вариационный ряд (неубывающий ряд).

Затем определяется значение параметра $q_{\text{эксп.}}$.

$$q_{\text{эксп.}} = \frac{1}{2} \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (X_{i+1} - X_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}; \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n X_i.$$

Следующим шагом проверяется условие $q_{\text{эксп.}} < q_{\text{табл.}}$. Если это условие выполняется, то систематическая погрешность присутствует.

Значения параметра $q_{\text{табл.}}$

Таблица 5.1

n	q	n	q
4	0.3902	13	0.5778
5	0.4102	14	0.5908
6	0.4451	15	0.6027
7	0.4680	16	0.6137
8	0.4912	17	0.6237
9	0.5121	18	0.6330
10	0.5311	19	0.6417
11	0.5482	20	0.6498
12	0.5636	25	0.6836

- Использование регрессионного анализа для выяснения характера зависимости группового среднего от некоторого неслучайного аргумента (например, времени, контролируемой температуры, давления и др.).

3. Использование корреляционного анализа для обнаружения связи между результатами наблюдений и значениями измеряемой ФВ.

Изучение методов регрессионного и корреляционного анализа, которые достаточно сложны, в данной книге не рассматриваются.

Естественно, что лучше сразу получать результаты измерений без систематической погрешности или с небольшой погрешностью. Полностью исключить систематическую погрешность в процессе измерений, как правило, не удастся. Однако существуют специальные приемы, обеспечивающие исключение части систематической составляющей погрешности измерений. Рассмотрим основные из этих приемов.

Если систематические погрешности считают постоянными по характеру проявления, то применяют один из следующих четырех методов:

1. Исключение самого источника систематической составляющей погрешности измерений: например, путем предварительной установки измерительного прибора по уровню исключают погрешность от его неуравновешенной подвижной части.
2. Компенсация погрешности по знаку. Например, погрешность за счет вариаций показаний прибора исключают, определяя значение измеряемой величины при подходе к определенной точке шкалы слева и справа, а затем вычисляют среднее значение.

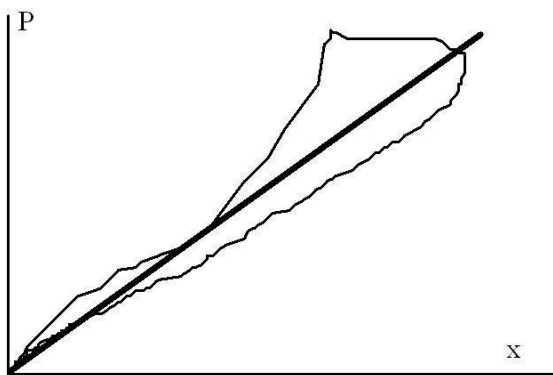


Рис. 5.2.

3. Проводят симметричные измерения, например, для исключения погрешностей от гистерезиса, проходят по шкале вверх и вниз, так называемый «прямой» и «обратный» ход, а затем результаты усредняются (рис.5.2).
4. Измерение одной и той же ФВ несколькими независимыми методами с последующим вычислением среднего взвешенного значения результата измерения.

Из теории вероятностей известно, что такое среднее взвешенное значение. Если отдельные значения a_i величины A получены с различной степенью точности, характеризуемой средним квадратическим отклонением σ_i (т.е. с различным СКО), то наиболее вероятным значением величины A является среднее взвешенное его значение:

$$a = \frac{w_1 \cdot a_1 + w_2 \cdot a_2 + \dots + w_n \cdot a_n}{w_1 + w_2 + \dots + w_n} = \frac{\sum_1^n w_i \cdot a_i}{\sum_1^n w_i};$$

где $w_i = \frac{1}{\sigma_i^2}$ - вес,

$$a = \sum_1^n \frac{a_i}{\sigma_i^2} - \text{средневзвешенное значение } A.$$

Систематическая погрешность, изменяющаяся в процессе измерения и обнаруженная статистическими методами, может быть в какой-то степени скомпенсирована только в случае знания закона ее изменения. Например, зависимость от температуры. Для выяснения характера зависимости группового среднего систематической погрешности используется регрессивный анализ, а для обнаружения связи между систематической погрешностью и измеряемой физической величиной используют корреляционный анализ. Изучение методов регрессивного и корреляционного анализа выходит за рамки рассматриваемых вопросов т.к. они достаточно сложны и для изучения требуют большего количества времени.

5.2. Учет неисключенных систематических погрешностей

На практике систематическая погрешность очень часто включает несколько составляющих и в том числе так называемые неисключенные остатки систематической погрешности, т.е. погрешности оставшиеся после введения поправок.

К числу неисключенных систематических погрешностей относятся следующие:

1. Погрешности, связанные с точностью определения поправок.
2. Погрешности, зависящие от точности измерения влияющей величины, входящей в формулу определения поправок.
3. Погрешности, связанные с колебанием влияющих величин при невозможности их контроля и учета поправок.
4. Методические или теоретические погрешности.
5. Погрешности, связанные с округлением при снятии показаний СИ.
6. Погрешности поверки и калибровки средств измерений и др.

Для каждого данного измерения, неисключенные остатки систематической погрешности имеют вполне определенные значения, но эти значения нам неизвестны. Известно лишь, что в массе однократных измерений эти остатки лежат в определенных границах $\pm \Theta_{k_{\max}}$ или имеют определенное среднее квадратическое отклонение, не превышающие S_{Θ_k} , где k - номер неисключенной составляющей систематической погрешности. Если закон распределения неисключенной систематической погрешности неизвестен, то для самих систематических погрешностей Θ_k принимают равномерный закон распределения, а для S_{Θ_k} - нормальный. Дисперсия суммы неисключенных остатков систематической погрешности (НСП) определяется как сумма дисперсий не исключенных остатков:

$$D \mathbf{P}_{-}^{-} = S_{\Theta}^2 = \frac{1}{3} \cdot \sum_{k=1}^{m_1} \Theta_{k_{\max}}^2 + \sum_{k=1}^{m_2} S_{\Theta_k}^2 = \sum_{j=1}^{m=m_1+m_2} S_{\Theta_j}^2,$$

где m_1 - число систематических погрешностей, заданных границами $\pm \Theta_{k_{\max}}$,

m_2 - число систематических погрешностей, заданных СКО S_{Θ_k} .

Не все составляющие НСП играют одинаковую роль или вносят одинаковый вклад в суммарную НСП. Отдельные составляющие вносят пренебрежительно малый вклад в суммарную погрешность, и ими можно пренебречь. Пользуясь правилами округления и, учитывая, что погрешность выражается не более чем двумя значащими цифрами, можно ввести такое условие, при котором можно пренебречь k-ой составляющей НСП:

$$S_{\Theta_k} < 1,05 \cdot \sqrt{\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m S_{\Theta_j}^2}$$

где $S_{\Theta}^2 = \sum_{j=1}^m S_{\Theta_j}^2$ - суммарная погрешность результата измерения.

Значение 1,05 получено из условия округления 1,049999...

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq k}}^m S_{\Theta_j}^2 = S_{\Theta}^2 - S_{\Theta_k}^2 ;$$

для исключения погрешностей должно выполняться условие:

$$S_{\Theta}^2 < 1,1025 (S_{\Theta}^2 - S_{\Theta_k}^2) \text{ т.е. } S_{\Theta_k}^2 < \frac{0,1025}{1,1025} \cdot S_{\Theta}^2 \text{ или } S_{\Theta_k} < 0,3S_{\Theta}.$$

Это условие легко распространяется на случай нескольких составляющих, которыми можно пренебречь:

$$\sqrt{S_{\Theta_1}^2 + S_{\Theta_2}^2 + \dots + S_{\Theta_k}^2} < 0,3S_{\Theta}$$

5.3. Правила и погрешности округления результатов наблюдений и вычислений.

Точность результатов наблюдений и последующих вычислений при обработке данных должны быть согласованы с необходимой точностью результатов измерений. Погрешность результатов измерений следует выражать не более чем двумя значащими цифрами. Две значащие цифры следует давать в двух случаях:

1. При проведении высокоточных наблюдений;

2. Если погрешность выражена числом с цифрой старшего разряда ≤ 3

Например: $\Delta = 22$

При обработке результатов наблюдений следует пользоваться правилами приближенных вычислений, а округление выполнять по следующим правилам:

1. Округлять результат измерения следует так, чтобы он оканчивался цифрой того же порядка, что и погрешность. Если значение результата измерения оканчивается нулями, то ноль отбрасывается до того разряда, который соответствует разряду погрешности.

Пример: Погрешность равна $\pm 0,0005$ м

Поле вычислений получен результат измерения:

$$\bar{X}_1 = 9,84236672 \cong 9,8424; \quad X_1 = (9,8424 \pm 0,0005) \text{ м.}$$

$$\bar{X}_2 = 1,260002 \cong 1,2600; \quad X_2 = (1,2600 \pm 0,0005) \text{ м.}$$

2. Если первая из заменяемых нулем или отбрасываемых цифр (слева направо) меньше 5, то остающиеся цифры не изменяются.

Пример: $\Delta = 0,06$; $\bar{X} = 2,3641 \cong 2,36$.

3. Если первая из заменяемых нулем или отбрасываемых цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр или нулей, то округление производят до ближайшего четного числа, т.е. четную последнюю оставленную цифру или ноль оставляют без изменений, нечетную увеличивают на единицу:

Пример: $\Delta = \pm 0,25$;

$$\bar{X}_1 = 1,385 \cong 1,38.$$

$$\bar{X}_2 = 1,355 \cong 1,36.$$

4. Если первая из заменяемых нулем или отбрасываемых цифр больше или равна 5, но за ней следует отличная от нуля цифра, то последнюю оставленную цифру увеличивают на единицу.

Пример: $\Delta = \pm 12$;

$$\bar{X}_1 = 236,51 \cong 237$$

Формулы для вычисления погрешностей при некоторых операциях над числами

Математическая операция	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$Z=a+b+c$	$\Delta_z = \Delta_a + \Delta_b + \Delta_c$ $\Delta_z \leq n \cdot \Delta_a,$ при $\Delta_a = \Delta_b = \Delta_c$	$\delta_z = \frac{\Delta_a + \Delta_b + \Delta_c}{a + b + c}$ $\delta_{i_{\min}} < \delta_z < \delta_{i_{\max}}$
$Z=a-b$	$\Delta_z \leq \Delta_a + \Delta_b$	$\delta_z = \frac{\Delta_a + \Delta_b}{a + b}$ $\delta_z \gg \delta_a, \delta_b$
$Z=a \times b \times c$	$\Delta_z = bc\Delta_a + ac\Delta_b + ab\Delta_c$ или $\Delta_z = \Delta_z \cdot \delta_z$	$\delta_z \leq \delta_a + \delta_b + \delta_c$
$Z = \frac{a}{b}$	$\Delta_z = \frac{b\Delta_a + a\Delta_b}{b^2}$	$\delta_z \leq \delta_a + \delta_b$
$Z = a^n$	$\Delta_z = n \cdot a^{n-1} \cdot \Delta_a$	$\delta_z = n \cdot \delta_a$
$Z = \sqrt[n]{a} = a^{\frac{1}{n}}$	$\Delta_z = \frac{1}{n} \cdot a^{\left(\frac{1}{n}-1\right)} \cdot \Delta_a$	$\delta_z = \frac{1}{n} \cdot \delta_a$
$Z = a_1 + a_2 + \dots + a_n = \sum_1^n a_i$	$\Delta_z^2 = \sum_1^n \Delta^2 \cdot a_i$ $\Delta_{a_j} = \Delta_a \cdot \sqrt{n} \text{ при}$ $\Delta_{a_1} = \Delta_{a_2} = \dots = \Delta_{a_n}$	$\delta_z^2 = \frac{\sum_1^n \Delta^2 \cdot a_i}{\left(\sum_1^n \Delta \cdot a_i\right)^2}$
$Z = (a_1 + a_2 + \dots + a_n) -$ $-(b_1 + b_2 + \dots + b_m) =$ $= \sum_1^n a_i - \sum_1^m b_j$	$\Delta_z^2 = \sum_1^n \Delta^2 \cdot a_i + \sum_1^m \Delta^2 \cdot b_j$	$\delta_z^2 = \frac{\Delta^2 \cdot \delta_z}{\left(\sum_1^n a_i - \sum_1^m b_j\right)^2}$
$Z = a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n$	$\Delta_z = \sum_1^n \left(\frac{z}{a_i} \cdot \Delta \cdot a_i \right)^2$	$\delta_z = \sum_1^n \delta^2 \cdot a_i$ $\delta_z = \delta_a \cdot \sqrt{n} \text{ при}$ $\delta_{a_1} = \delta_{a_2} = \dots = \delta_{a_n}$

5.4. Обработка результатов прямых равноточных наблюдений.

Как уже указывалось, прямыми называются измерения, в результате которых искомые значения ФВ находят непосредственно из опытных данных.

Прямые измерения часто осуществляются путем многократных наблюдений, что, как уже говорилось выше, делается для повышения точности результатов измерений, т.е. снижения случайной составляющей погрешности.

Результаты наблюдений $X'_1, X'_2, \dots, X'_i, \dots, X'_n$ называются равно рассеянными (равноточными), если они являются независимыми одинаково распределенными случайными величинами.

Обработка результатов прямых наблюдений производится в соответствии с ГОСТ 8.207. «ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями»

Порядок обработки результатов следующий:

1. Путем введения поправок исключают известные систематические погрешности из результатов наблюдений X_i . Получают исправленный ряд наблюдений: $X_i = X'_i + \beta_i$
2. Располагают результаты наблюдений в неубывающий ряд.
3. Вычисляют среднее арифметическое значение исправленных результатов:

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n X_i.$$

Вычисляют несмещенную оценку СКО результатов наблюдений и оценку СКО среднего арифметического:

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$
$$S_{\bar{X}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}},$$

4. Проверяют гипотезу о нормальности распределении результатов наблюдений с помощью критериев χ^2, ω^2 , составного критерия и др.
5. Если результаты наблюдений могут быть аппроксимированы нормальным законом распределения, то определяют и исключают грубые погрешности или промахи по ГОСТ 11.006.

Вопрос о том, содержит ли данный результат наблюдения грубую погрешность, решается методами проверки статистических гипотез. Сомнительными могут быть максимальные или минимальные результаты из всей совокупности.

Определяют значение $\gamma_1 = \frac{X_{\max} - \bar{X}}{S_X}$; $\gamma_2 = \frac{\bar{X} - X_{\min}}{S_X}$.

Затем по специальным сравнительным таблицам при заданном уровне значимости $q=1-\alpha$ находят значение $v_{\text{таб}}$. Если $v < v_{\text{таб}}$, то принимается гипотеза, что результат наблюдений не содержит грубую погрешность. В противоположном случае результат наблюдений исключается из рассмотрения и проводится повторная обработка, т.е. находятся новые значения \bar{X} , S_X , $S_{\bar{X}}$.

6. Вычисляют доверительные границы случайной погрешности при заданной доверительной вероятности ($P=0,95, q=0,05$):

$\Delta = \pm t_p \cdot S_{\bar{X}}$, где t_p - коэффициент Стьюдента; его значение определяется из таблиц по величинам P (доверительная вероятность) и n (число наблюдений).

7. Определяют границы, неисключенной систематической погрешности (НСП). Если распределение систематических составляющих погрешностей неизвестно, то принимают равномерный закон распределения. В этом случае:

$$\Theta = k \cdot \sqrt{\sum_{j=1}^m \Theta_j^2},$$

где m - число составляющих НСП

при $P=0,95$; $k=1,1$

$P=0,99$; $k=1,4$

8. Определяют доверительные границы суммарной погрешности.

Если отношение $\frac{\Theta}{S_{\bar{X}}} < 0,8$, систематической погрешностью Θ пренебрегают и доверительные границы суммарной погрешности равны доверительным границам случайной составляющей погрешности: $\Delta = \Delta^0 = \mp t_p \cdot S_{\bar{X}}$;

Если отношение $\frac{\Theta}{S_{\bar{X}}} > 8$, то пренебрегают случайной составляющей погрешности и доверительные границы суммарной погрешности равны доверительным границам неисключенной систематической погрешности $\Delta = \pm \Theta$.

Если отношение лежит в интервале $0,8 < \frac{\Theta}{S_{\bar{X}}} < 8$, доверительные границы погрешности результата измерения находят путем построения композиции распределения случайных и неисключенных систематических погрешностей, рассматриваемые как случайные величины. В этом случае суммарная погрешность определяется следующим образом: $\Delta = \gamma \cdot S_{\Sigma}$, для этого находят эмпирический

коэффициент $\gamma = \frac{\Delta^0 + \Theta}{S_{\bar{X}} + S_{\Theta}}$, где $S_{\Theta} = \sqrt{\sum_{j=1}^m \frac{\Theta_j^2}{3}}$;

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\bar{X}}^2 + S_{\Theta}^2} = \sqrt{S_{\bar{X}}^2 + \frac{1}{3} \cdot \sum_1^m \Theta_j^2};$$

9. Результат измерения записывается в следующем виде:

$$\hat{Q} = \bar{X} \pm \Delta, P;$$

где \hat{Q} - оценка истинного значения измерения физической величины.

Если сведения о функции распределения составляющих погрешности отсутствуют, то результаты наблюдения располагают в вариационный ряд (упорядоченная выборка) $X_i \leq X_{i+1}$ и определяют значение контрэксцесса ζ :

$$\zeta = \sqrt{\frac{S_X^4}{\mu_4}}, \text{ где } \mu_4 = \frac{1}{n} \cdot \sum_1^n (X_i - \bar{X})^4$$

Если ζ лежит в интервале $0 < \zeta < 0.45$, то для симметричных островершинных распределений результаты измерений определяются по формуле:

$$Me = \frac{1}{2} \cdot \left(X_{\frac{n}{2}} + X_{\frac{n}{2}+1} \right), \text{ если } n - \text{ четное}$$

$$Me = X_{\frac{n+1}{2}}, \text{ если } n - \text{ нечетное.}$$

Если ζ лежит в интервале $0.67 < \zeta \leq 1$, т.е. распределения близки к нормальному, то:

$$\hat{X} = \frac{1}{2} \cdot (X_1 + X_n)$$

5.5. Обработка результатов неравноточных наблюдений.

Часто измерения проводятся в несколько этапов, разными наблюдателями, в различное время, в разных условиях с применением различных СИ. При этом необходимо найти наиболее достоверное значение ФВ и оценить его отклонение от истинного значения.

Группы результатов наблюдений называют неравноточными (неравно рассеянными), если оценки их дисперсий значительно отличаются друг от друга, а средние арифметические значения групп являются оценкой одного и того же значения измеряемой ФВ.

Если результаты наблюдений в группах распределены нормально, то используется принцип максимального правдоподобия. При этом оценка \hat{Q} определяется следующим образом:

$$\hat{Q} = \frac{\sum_{j=1}^{i=m} \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2} \cdot \bar{X}_j}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}},$$

где \bar{X}_j - среднее значение j-й группы наблюдений;

$\sigma_{\bar{X}_j}$ - оценка СКО среднего арифметического в j -й группе;

m - число групп наблюдений.

Полученная оценка \hat{Q} называется **средневзвешенной**.

Вес α отдельного среднего арифметического \bar{X}_j определяется следующим образом:

$$\alpha = \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}.$$

Веса α характеризуют степень нашего доверия к соответствующим рядам (группам наблюдений). Чем больше число наблюдений в данном ряду и чем меньше дисперсия результата измерений $D = \sigma_j^2$, тем больше доверия к полученному в j -том ряду среднему значению. Иногда пользуется безразмерными весовыми коэффициентами:

$$\lambda_j = \frac{\frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}}{\sum_1^m \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}}; \text{ т.е. } \sum_1^m \lambda_j = 1$$

Тогда средневзвешенное значение \hat{Q} равно:

$$\hat{Q} = \sum_{i=1}^m \lambda_j \cdot \bar{X}_j;$$

дисперсия результата измерения D

$$D = \sigma_{\hat{Q}}^2 = \frac{1}{\sum_{j=1}^m \frac{1}{\sigma_{\bar{X}_j}^2}}.$$

Все эти выражения справедливы для нормального закона распределения результатов наблюдений.

5.6. Обработка результатов косвенных измерений.

При косвенных измерениях значение искомой ФВ получают на основании известной зависимости, связывающей эту ФВ с другими прямо измеренными величинами.

Пусть ФВ Q связана с величинами Q_1, Q_2, \dots, Q_m зависимостью $Q = F(Q_1, Q_2, \dots, Q_i, \dots, Q_m)$, где F - известная функция.

Для этого случая существует следующее правило: эффективная, несмещенная и состоятельная оценка истинного значения определяемой ФВ \hat{Q} равна

$$\hat{Q} = F(\hat{Q}_1, \hat{Q}_2, \dots, \hat{Q}_i, \dots, \hat{Q}_m).$$

Дисперсия этой оценки

$$\sigma_{\hat{Q}}^2 = \sum_{j=1}^m \left(\frac{\partial F}{\partial Q_j} \right)^2 \cdot \sigma_{Q_j}^2 + \sum_{\substack{i,j=1 \\ i \neq j}}^m \left(\frac{\partial F}{\partial Q_j} \right) \cdot \left(\frac{\partial F}{\partial Q_i} \right) \cdot r_{ij} \cdot \sigma_{\hat{Q}_j} \cdot \sigma_{\hat{Q}_i},$$

где σ_j - дисперсия оценок прямо измеренных ФВ,

r_{ij} - коэффициент корреляции между погрешностями измерений величин Q_i и Q_j

5.7. Обработка результатов совокупных и совместных измерений.

Совокупные измерения - производимые одновременно измерения одноименных физических величин, при которых искомые значения находят решением систем уравнений, получаемых при прямых измерениях различных сочетаний этих величин.

Совместные измерения - производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для нахождения зависимости между ними.

Этот вид измерений характеризуется тем, что значения искомым величин рассчитывают по системе уравнений, связывающие искомые ФВ с некоторыми величинами, измеряемыми прямым методом. Причем, измеряют несколько комбинаций этих величин.

Каждая комбинация позволяет получить одно уравнение. Все системы уравнений, содержащие полную информацию о значениях искомых ФВ, имеют вид:

$$F_i(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_m, X_1^{(i)}, X_2^{(i)}, \dots, X_k^{(i)}) = 0,$$

где $i = 1, 2, \dots, n$ - номер уравнения или комбинации величин X_1, X_2, \dots, X_k ,

Q_j - значения искомых величин,

m - число ФВ,

n - число наблюдений j -той величины,

$X_k^{(i)}$ - реализация измерений прямым или косвенным методом величин X_k в i -том опыте.

Если Q_j является значением одной и той же величины, например массы, то измерения совокупные.

Если Q_j является значением различных ФВ, то измерения совместные.

Для повышения точности результатов измерений проводят многократные измерения, а обработку проводят методом наименьших квадратов (МНК). Суть метода заключается в том, что оценки \hat{Q}_j выбирают таким образом, чтобы минимизировать сумму квадратов остаточных погрешностей условным уравнением

$$\rho^2 = \sum_{i=1}^n V_i^2 = \sum_{i=1}^n F_i^2(Q_1, Q_2, \dots, Q_j, \dots, Q_m).$$

ρ^2 достигает минимума при значениях \hat{Q}_j , обращающих в ноль все частные производные от ρ^2 по искомым величинам:

$$\frac{\partial \rho^2}{\partial Q_j} = \frac{\partial}{\partial Q_j} \cdot \sum_{i=1}^n V_i^2 = 0, \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Рассмотрим этот метод на частном, но часто встречающемся случае совместных измерений двух ФВ X и Y , причем, известно, что зависимость между ними линейная: $Y = \alpha + \beta X$.

Производят совместные измерения значений X_i и соответствующих им значений Y_i , получая зависимость $Y = f(X)$ (рис. 5.3).

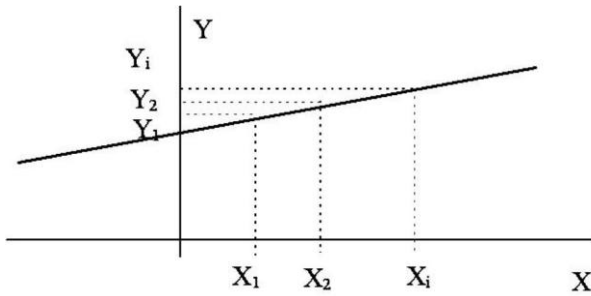


Рис. 5.3.

Применять МНК в этом случае можно, если соблюдать следующие три условия:

Значения X_i округляется с пренебрежительно малой погрешностью, т.е. для всех результатов измерений X_i можно пренебречь $\Delta_{X_i} \cong 0$.

Результат измерений величин Y_i содержит только случайные погрешности с дисперсией D .

$D[\Delta_{Y_i}^0] = \sigma^2$ - т.е. измерения равнозначные.

Случайная погрешность $\Delta_{Y_i}^0$ имеют нормальное распределение.

При этих условиях оценка методом наименьших квадратов является состоятельной, несмещенной и эффективной ($D=D_{\min}$).

Удобнее представить зависимость $Y=f(X)$ в виде:

$$Y = a_0 + b(X - \bar{X}), \text{ где } b=\beta, a_0=\alpha+b\bar{X}.$$

В этом случае неизвестные параметры a_0 и b , которые необходимо определить при проведении совместных измерений, определяются следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} a_0 &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i \\ b &= \frac{\sum_{i=1}^n Y_i (X_i - \bar{X})}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2} \\ \bar{X} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \end{aligned} \right\}$$

n - число точек, в которых производятся совместные измерения.
Дисперсия погрешностей определения параметров a_0 и b равна:

$$D \overline{y_0} = \sigma_{a_0}^2, \text{ где } \sigma_{a_0} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$
$$D \overline{b} = \sigma_b^2, \text{ где } \sigma_b = \frac{\sigma}{\sqrt{\sum_1^n (X_i - \bar{X})^2}}.$$

Можно заметить, что результаты прямых измерений, полученных ранее, как среднее арифметическое результатов наблюдений, является оценкой методов наименьших квадратов для случая $\beta=0$. Изложенное имеет большое практическое значение при проведении технических измерений и прежде всего при построении градуировочных характеристик СИ.

Глава 6. Средства измерений. Классификация средств измерений.

6.1. Средства измерений.

Понятие и термин «средство измерений» получили широкое распространение в метрологической практике с начала 70-х годов, когда этот термин был введен. К этому времени стала ясной необходимость, особенно для технических измерений, разработки единой метрологической методологии, охватывающей все области измерений. В связи с этим было признано необходимым ввести некоторый термин, который охватывал бы любое техническое устройство, предназначенное для выработки, преобразования, отображения информации о размерах (значениях) измеряемых величин. Таким образом, в принятом термине под средством измерения понималось техническое устройство, предназначенное для выработки, преобразования, отображения информации о размерах измеряемых физических величин. Прежде каждое из подобных технических устройств именовалось отдельно, и, при необходимости формирования каких-либо правил, методов, требований и т.п., относящихся ко всем таким техническим устройствам, давалось просто их перечисление. При выработке соответствующего термина не вызывало сомнений, что он должен охватить измерительные показывающие и регистрирующие приборы, измерительные преобразователи (первичные и промежуточные), измерительные и информационно-измерительные системы, меры. Термин «средство измерения» был введен и получил широкое распространение как в литературе, так и в метрологических нормативных и методических документах.

Как известно, средства измерений подвергаются соответствующему метрологическому контролю и надзору, т.е. существует ряд обязательных правил и требований, которые должны соблюдать как разработчики средств измерений, так и потребители. После введения термина «средство измерения», о котором говорилось ранее, на практике оказалось, что принятое определение недостаточно четко. Это вызвало необходимость уточнения принятого термина. В настоящее время принято следующее определение: средство измерения - техническое средство (или их комплекс), предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее

единицу физической величины, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени (ГОСТ 16263).

Метрологические характеристики - это характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результаты измерений.

Термин «средство измерения» не является однородным понятием, определяющим совокупность идентичных технических средств. Он является понятием обобщенным, объединяющим самые разнообразные конструктивно законченные устройства, обладающие одним из двух следующих признаков:

1. Они вырабатывают сигнал (показание), несущий информацию о размере (значении) измеряемой физической величины.
2. Воспроизводят величину заданного (известного) размера.

Объединение технических устройств по этим двум признакам сделано только из соображений целесообразности общего метрологического анализа и регламентации метрологических требований и правил, единых для измерительных, показывающих и регистрирующих приборов, измерительных преобразователей, измерительных систем, измерительных комплексов, мер.

Применение средств измерений невозможно без знания степени соответствия информации, содержащейся в их выходном сигнале (показаниях), о размере измеряемой (преобразуемой) величины ее истинному размеру. Для этого метрологические характеристики средств измерений нормируются. Это позволяет знать инструментальную погрешность средств измерений.

Всякое средство измерения (кроме некоторых мер) в общем случае можно рассматривать как некоторую цепь (механическую, электрическую и др.), для которой характерна определенная зависимость между информативным параметром (показанием прибора) выходного сигнала и измеряемой величиной. Это справедливо и для таких специфических средств измерений, как измерительные (информационно - измерительные) системы (ИС, ИИС), состоящие в свою очередь из более простых средств измерений и различных технических устройств.

6.2. Классификация средств измерений.

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

Однозначная мера воспроизводит один размер - одну единицу, многозначные - больше, чем одна.

Необходимо отметить, что стандартные образцы также относятся к СИ, но выделены в отдельную группу и **не** являются мерами.

Измерительные приборы служат для преобразования какой-либо ФВ и выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Совокупность преобразователя и измерительного прибора является измерительным устройством.

Все средства измерений могут классифицироваться по различным признакам.

По принципу действия средства измерений могут подразделяться на:

- механические;
- электрические;
- электромагнитные;
- электронные;
- оптические.

По способу определения значения измеряемой величины средства измерения можно разделить на две группы: прямого действия и сравнения.

СИ прямого действия (непосредственной оценки) позволяют получать значения измеряемой величины на отсчетном устройстве (манометр, амперметр, термометр). Характерной особенностью таких приборов является то, что результаты, полученные с их помощью, не требуют сравнения с показателями образцовых средств измерений.

В СИ сравнения значение измеряемой величины определяют сравнением с известной величиной соответствующей ее меры. Например, при измерении массы тел на рычажных весах.

По способу образования показаний средства измерения подразделяют на показывающие и регистрирующие. Показывающие приборы в свою очередь подразделяют на аналоговые и цифровые.

Аналоговые приборы - это, как правило, стрелочные приборы с отсчетными устройствами, состоящими их двух элементов - шкалы и

указателя, связанного с подвижной частью прибора. Показания таких приборов являются непосредственной функцией измерений измеряемой величины.

Цифровые измерительные приборы автоматически вырабатывают дискретные сигналы измерительной информации, которые предоставляют в цифровой форме. Отсчет у них производится с помощью механических или электронных цифровых отсчетных устройств. Благодаря своим преимуществам (высокая производительность измерения, исключение ошибок оператора, результат измерения удобен для ввода в ЭВМ и т.д.), в последние годы они все чаще заменяют стрелочные приборы.

Регистрирующие измерительные приборы подразделяют на самопишущие (термографы, барографы, шлейфовые осциллографы), выдающие показания в форме диаграмм, и печатающие, которые выдают результат измерения в цифровой форме на бумажной ленте. Регистрирующие измерительные приборы находят широкое применение при измерении физических величин, параметров процессов или свойств объектов в динамических процессах, когда непрерывно изменяются те или иные условия измерения (температура, давление и т.д.).

Измерительный преобразователь - средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающийся непосредственному восприятию наблюдателем.

Преобразуемая физическая величина называется входной, а результат преобразования - выходной величиной.

Измерительные преобразователи являются составной частью измерительных приборов, различных измерительных систем, систем автоматического контроля или регулирования тех или иных процессов. Преобразователь, стоящий первым в измерительной цепи, обычно называют первичным (термопара в термоэлектрическом термометре). Преобразователь, предназначенный для изменения величины в заданное число раз, называется масштабным (измерительные усилители). Преобразователь, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации называется передающим.

Если первичный преобразователь имеет конструктивную самостоятельность и нормированную функцию преобразования, то

его иногда называют датчиком. Как правило, датчики преобразуют неэлектрические величины в электрические.

В настоящее время широко применяются аналоговые, аналого-цифровые (АЦП) и цифро-аналоговые (ЦАП) преобразователи.

Измерительная установка - совокупность функционально объединенных средств измерений (мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей) и вспомогательных устройств, предназначенных для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для непосредственного восприятия наблюдателем и расположенных в одном месте. Создание измерительных установок, называемых также измерительными стендами, позволяют наиболее рационально расположить все требуемые средства измерения и соединить их с объектами измерений для обеспечения наиболее высокой производительности труда, качества измерений на данном рабочем месте (например, на рабочих местах операторов в конкретных условиях производства или измерительных лабораториях).

Измерительная система - совокупность средств измерений и вспомогательных устройств, соединенных между собой каналами связи, предназначенная для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования автоматических в автоматических системах управления. (АИС - автоматизированная измерительная система; ИИС - информационно - измерительная система; ИВК - измерительно-вычислительный комплекс).

Главная цель всех измерительных систем - автоматизация процесса измерения и использования результатов измерений для автоматического управления различными процессами производства.

Вспомогательное средство измерения - средство измерения величин, влияющих на метрологические свойства другого средства измерения при его применении или поверке. Например, точность измерения расхода газа или линейных размеров тел зависит от температуры, измеряемой термометром, который и является вспомогательным средством измерения.

Вспомогательные устройства, служащие для обеспечения операций измерений, передачи и обработки информации и т.п. составляют вид *измерительных принадлежностей*. К ним относятся источники питания, коммутаторы, усилители, термопары и др.

В условиях машиностроительного комплекса средства измерения, применяемые при изготовлении деталей условно подразделяется на измерительные инструменты и приборы и автоматические средства контроля. По назначению они могут быть универсальными и специальными, а по числу проверяемых параметров при одной установке детали: одномерные и многомерные. По степени механизации процесса измерения: средства измерения могут быть ручного действия, механизированные, полуавтоматические и автоматические.

6.3. Погрешности средств измерений и формы их выражения

Каждое средство измерений обладает определенной погрешностью. Погрешности СИ определенного типа в реальных условиях применения может иметь две модели.

Модель I.

Если погрешность СИ соответствует этой модели, ее суммарная абсолютная погрешность

$$(\Delta_{M1})_1 = \Delta_{os} * \overset{0}{\Delta_0} * \overset{0}{\Delta_{0H}} * \sum_{i=1}^l \Delta_{c_i} * \Delta_{dyn} \quad (1).$$

Формула (1) представляет собой символическую запись объединения составляющих погрешности измерений в реальных условиях применения, где:

Δ_{os} - систематическая составляющая основной погрешности СИ;

$\overset{0}{\Delta_0}$ - случайная составляющая основной погрешности СИ;

$\overset{0}{\Delta_{0H}}$ - случайная составляющая, обусловленная гистерезисом;

$\sum_{i=1}^l \Delta_{c_i}$ - объединение дополнительных погрешностей Δ_{c_i} СИ, обусловленных действием влияющих величин и неинформативных параметров входного сигнала СИ;

Δ_{dyn} - динамическая погрешность СИ, обусловленная влиянием скорости (частоты) изменения входного сигнала СИ;

l - число дополнительных погрешностей.

Модель II.

Если погрешность СИ соответствует этой модели, ее суммарная абсолютная погрешность

$$\Delta_{\text{MI}} = \Delta_0 * \sum_{i=1}^l \Delta_{c_i} * \Delta_{\text{dyn}} \quad (2).$$

Формула (2) представляет собой символическую запись объединения трех составляющих погрешности СИ в реальных условиях применения, причем Δ_0 - основная погрешность СИ без разделения ее на составляющие, как в модели I.

В зависимости от свойств СИ данного типа и реальных условий его применения некоторые или все составляющие Δ_{c_i} и (или) Δ_{dyn} модели II могут отсутствовать. Число l составляющих Δ_{c_i} должно быть равно числу всех величин, существенно влияющих на погрешность СИ в реальных условиях применения.

Модель II применима только для СИ таких типов, у которых случайная составляющая основной погрешности может считаться несущественной (пренебрежимо малой).

Основная погрешность СИ Δ_0 , соответствующего этой модели, определяется следующим образом:

$$\Delta_0 = \Delta_{\text{os}} + \Delta_{\text{оН}}^0,$$

где $\Delta_{\text{оН}}^0$ - случайная составляющая основной погрешности от гистерезиса.

Следует отметить, что если составляющие $\sum_{i=1}^l \Delta_{c_i}$ и Δ_{dyn} настолько малы, что их можно не учитывать, т.е. $\Delta_{\text{MI}} = \Delta_0$, то модель II может быть применена и при наличии существенной случайной составляющей основной погрешности.

Если при применении СИ данного типа допускается, чтобы погрешность измерений изредка превышала значение, рассчитанное

по нормируемым метрологическим характеристикам СИ, то должна быть выбрана модель I погрешности СИ.

Погрешности СИ могут выражаться:

- в виде абсолютной погрешности Δ .

Для меры $\Delta = X_n - X_d$, где X_n - номинальное значение, X_d - действительное значение измеряемой величины.

Для прибора $\Delta = X_n - X_d$, где X_n - показание прибора;

- в виде относительной погрешности $\delta = \left(\Delta / X_d \right) \cdot 100\%$;
- в виде приведенной погрешности $\gamma = \left(\Delta / X_N \right) \cdot 100\%$, где X_N - нормирующее значение измеряемой ФВ.

В качестве нормирующего значения может быть принят предел измерения данным СИ. Например, для весов с пределом измерения массы 10 кг. $X_N = 10$ кг. Если в качестве нормирующей величины принимается размах всей шкалы, то именно к значению этого размаха в единицах измеряемой ФВ и относят абсолютную погрешность. Например, для амперметра с пределами измерения от минус 100 мА до 100 мА $X_N = 200$ мА. Если в качестве нормирующей величины принимается длина шкалы прибора l , то $X_N = l$.

На каждое СИ погрешность приводится только в какой-то одной форме.

Если погрешность СИ при неизменных внешних условиях постоянна во всем диапазоне измерений, то $\Delta = \pm a$ (6.1). Если она меняется в указанном диапазоне, то $\Delta = \pm(a + bx)$ (6.2).

При $\Delta = \pm a$ погрешность называется аддитивной, при $\Delta = \pm(a + bx)$ - мультипликативной.

Для аддитивной погрешности $\delta = \pm p$ (6.3).

Для мультипликативной погрешности

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_n}{X_d} \right) - 1 \right] \quad (6.4).$$

Приведенная погрешность $\gamma = \pm q$ (6.5).

Значения p , c , d , q , выбираются из ряда чисел: $1 \cdot 10^n$; $1,5 \cdot 10^n$; $(1,6 \cdot 10^n)$; $2 \cdot 10^n$; $2,5 \cdot 10^n$; $3 \cdot 10^n$; $4 \cdot 10^n$; $5 \cdot 10^n$; $6 \cdot 10^n$,

где n - положительное или отрицательное целое число, включая «0».

В зависимости от степени точности СИ им присваивается класс точности. Общего определения «класс точности» в настоящее время не существует. Для СИ, у которых погрешность измерения определяется в соответствии с формулами (6.1) и (6.2) - класс точности присваивается порядковым номером, начиная для самого точного с 1 и далее по мере возрастания погрешности.

Если погрешность определяется по формулам (6.3) или (6.5) - класс точности СИ соответствует значениям относительной или приведенной погрешности, выраженной в %.

Например, если $\delta = \pm 1\%$, то класс точности СИ 1,0, если приведенная погрешность $\gamma = \pm 1,5\%$, то класс точности СИ 1,5. Это справедливо для приведенной погрешности, нормируемой значением ФВ в принятых единицах. В тех случаях, когда погрешность нормируется длиной шкалы прибора l , класс точности также равен численному значению γ , но обозначается по другому. Например, при $\gamma = 0,5\%$ ($X_N=l$) класс точности – 0,5, а его обозначение приведено в таблице 6.1.

Если погрешность СИ определяется формулой (6.4) (мультипликативная погрешность), то она обозначается с/d.

Например, если $\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\left| \frac{X_n}{X_d} \right| \right) - 1 \right]$, то класс точности СИ

обозначается 0,02/0,01.

Проиллюстрируем это на следующем примере. Имеется вольтметр с пределами измерений (0...100) В. На него подается напряжение 50 В. Результат измерения - 48,5 В. Необходимо определить класс точности (по Δ , δ , γ).

$$\Delta = 1,5 \text{ В}, \delta = 3\%, \gamma = 1,5\%.$$

По Δ класс точности 6, по δ класс точности - 3, по γ класс точности - 1,5.

Обозначения классов точности приведены в таблице 6.1.

Таблица 6.1.

Форма выражения погрешности	Предел допускаемой погрешности	Обозначение класса точности СИ ∇
Приведенная погрешность, нормирующее значение выражается в единицах измеряемой ФВ (отношение к тах значению шкалы или размаху)	$\gamma = 1,5\%$	1,5
Приведенная погрешность, нормирующее значение принято равным длине шкалы	$\gamma = 0,5\%$	0,5
Постоянная относительная погрешность (аддитивная)	$\delta = 0,5\%$	0,5
Относительная погрешность меняется с изменением измеряемой ФВ (мультипликативная)	$\delta = \pm \left[0,03 + 0,02 \left(\left \frac{x_{\pi}}{x_n} \right - 1 \right) \right]$	0,03/0,02

Глава 7. Правовые основы и нормативная база обеспечения единства измерений.

7.1. Правовые основы обеспечения единства измерений в РФ.

Российская система измерений (РСИ) является социально значимой системой и представляет собой организационные и функциональные объединения участников, проводящих измерения и потребителей измерительной информации.

В РСИ входят органы и службы, обеспечивающие единство измерений, разработчики, производители (поставщики) и пользователи средствами измерений (СИ), действующие в соответствии с российским законодательством.

Основной целью РСИ является содействие экономическому и социальному развитию общества путем защиты от неверных результатов измерений на основе конституционных норм, Законов РФ, постановлений Правительства РФ и государственных стандартов.

Важнейшей задачей РСИ для достижения этой цели является проведение единой технической политики по обеспечению единства измерений в масштабах всей страны, влияющих на уровень жизни и благосостояние граждан, на экономику и производство, правопорядок, безопасность, экологию, науку и технику, обороноспособность, а также на международное сотрудничество.

Исходными предпосылками формирования и развития РСИ в современных условиях являются следующие положения:

- переход Российской Федерации на рыночные экономические отношения;
- признание целесообразности сохранения и управления хозяйственных, торговых и научно-технических отношений и интеграции со странами СНГ, необходимость проведения с ними согласованной политики в области метрологии;
- признание необходимости интеграции экономики страны с европейской и мировой экономикой.

Для наглядности правовая и нормативная база обеспечения единства измерений в Российской Федерации может быть изображена в виде схемы, представленной на рис. 7.1.



Рис. 7.1.

Как видно из приведенной схемы, важнейшим документом, определяющим правовые основы обеспечения единства измерений в РФ, является Конституция РФ.

РСИ является объективным инструментом для обеспечения оценки качества продукции и услуг через стандарты, метрологическое обеспечение производства, испытания и имеет следующие основы:

- научную - метрология, со своими постулатами;
- нормативную - законы, подзаконные акты, стандарты по метрологии и производству измерительной техники;
- техническую - средства измерений соответствующего качества (испытанные и исследованные);
- организационную - Государственная метрологическая служба и метрологические службы юридических и физических лиц.

7.2. Нормативная база обеспечения единства измерений в РФ.

Закон РФ «Об обеспечении единства измерений».

До 1993г. у нас стране не было документа, на уровне Закона, касающегося обеспечения единства измерений.

В преамбуле Закона «Об обеспечении единства измерений» подчеркивается его существенная особенность: Закон нацелен не только на защиту прав и законных интересов граждан и установленного правопорядка (от отрицательных последствий

недостоверных результатов измерений), но также и экономики Российской Федерации. Такая широкая направленность несвойственна законодательству зарубежных стран, где в условиях рыночных отношений вмешательство государства не допускается. В нашей стране на современном этапе это необходимо, поскольку государственный сектор имеет значительный удельный вес в экономике страны и отказ от государственного регулирования вопросов метрологии в производственной среде может привести к полному хаосу.

Закон сдержит 7 разделов и 27 статей.

Цель данного Закона: установление правовых основ обеспечения единства измерений в Российской Федерации, регулирование отношений государственных органов управления Российской Федерации с юридическими и физическими лицами по вопросам изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта, продажи и импорта средств измерений.

В первом разделе (ст.1...5) «Общие положения» даются основные понятия, применяемые в Законе (ст.1), регулирование правовых отношений, связанных с обеспечением единства измерений (ст.2), определяется, что международные договоры в области обеспечения единства измерений имеют приоритет перед настоящим Законом (ст.3), определяются нормы государственного управления обеспечением единства измерений (ст.4), определяется, что нормативные документы в этой области утверждаются ГОССТАНДАРТОМ России, государственными органами управления, несущими ответственность за принятие НД в порученных им сферах управления (ст.5).

Во втором разделе - «Единицы величин. Среда и методики выполнения измерений» (ст.6...9) - определяются порядок применения единиц физических величин (ст.6), подчеркивается, что государственные эталоны единиц величин являются исключительной федеральной собственностью (ст.7), определяются требования к СИ (ст.8) и методикам выполнения измерений (ст.9).

В разделе три - «Метрологические службы» (ст.10...11) - определяются государственная метрологическая служба (ст.10) и метрологические службы государственных органов управления РФ и юридических лиц (ст.11).

Раздел четыре - «Государственный метрологический контроль и надзор» (ст.12...22) - определяет виды государственного метрологического контроля и надзора России.

В этом разделе представлены: виды государственного метрологического контроля и надзора (ст.12), сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора (ст.13), порядок утверждения типа СИ (ст.14), поверки СИ (ст.15), лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и проката СИ (ст.16), порядок государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением СИ, методиками выполнения измерений, эталонами, соблюдением метрологических правил и норм (ст.17), за количеством товаров, отчуждаемых при торговых операциях (ст.18.), за количеством фасованных товаров (ст.19), права и обязанности государственных инспекторов (ст.21), содействие государственному инспектору (ст.22).

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляется Государственной метрологической службой Госстандарта. Государственная метрологическая служба находится в ведении Госстандарта России и включает:

государственные научные метрологические центры;
органы государственной метрологической службы на территориях республик РФ, автономных образований, краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Органы Государственной метрологической службы осуществляют государственный метрологический контроль и надзор на территориях республик РФ, автономных образований, краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

Государственные органы управления РФ, а также предприятия, организации, учреждения, являющиеся юридическими лицами создают в необходимых случаях в установленном порядке метрологические службы для выполнения работ по обеспечению единства и требуемой точности измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

Государственный метрологический контроль включает:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений, в том числе эталонов;

- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

- за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;
- за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Законом определяются сферы распространения, основные требования к порядку проведения, права, обязанности и ответственность государственных инспекторов по обеспечению единства измерений.

Государственный метрологический контроль и надзор, осуществляемые с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм, распространяется на:

- 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 РФ;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов РФ;
- регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Нормативными актами республик в составе автономных образований, краев областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга

государственный метрологический контроль и надзор могут быть распространены и на другие сферы деятельности.

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляют должностные лица Госстандарта России - главные государственные инспекторы и государственные инспекторы по обеспечению единства измерений.

Юридические и физические лица должны оказывать содействие государственному инспектору в выполнении возложенных на него обязанностей. Лица, препятствующие осуществлению государственного метрологического контроля и надзора, несут ответственность в соответствии с законодательством РФ уголовную, административную либо гражданско-правовую ответственность.

В разделе пять - «Калибровка и сертификация СИ» (ст.23...24) - определяет порядок калибровки (ст.23) и сертификации (ст.24) СИ.

Раздел шестой - «Ответственность за нарушения положений настоящего Закона» (ст.25) - определяет, что за нарушения положений настоящего Закона юридические и физические лица, а также государственные органы управления несут уголовную, административную или гражданско-правовую ответственность.

В разделе семь - «Финансирование работ по обеспечению единства измерений» (ст.26, 27) - определяются порядок финансирования работ (ст.26) и оплата метрологических работ и услуг в области обеспечения единства измерений.

Обязательному государственному финансированию в соответствии со статьей 26 раздел VII подлежат:

- разработка, совершенствование, хранение и применение эталонных единиц величин;
- фундаментальные исследования в области метрологии;
- работы связанные с деятельностью ГСВЧ, ГСССО ГСССД;
- содержание, приобретение и разработка оборудования, необходимого для оснащения органов Государственной метрологической службы;
- разработка утверждаемых Госстандартом России нормативных документов по обеспечению единства измерений;
- работы по государственному метрологическому надзору.

Постановление Правительства РФ от 12 февраля 1994г. №100.

Постановление Правительства от 12 февраля 1994г. №100 «Об организации работ по стандартизации, обеспечению единства измерений, сертификации продукции и услуг «во исполнении Законов РФ «О стандартизации», «Об обеспечении единства измерений» и «О сертификации продукции и услуг» и в целях совершенствования государственного управления стандартизацией, метрологией и сертификацией продукции и услуг Правительство РФ постановляет» утвердить:

Положение о порядке создания и правилах пользования Федеральным использованием государственных стандартов, общероссийских классификаторов, международных стандартов, правил, норм и рекомендаций по стандартизации, национальных стандартов зарубежных стран;

Положение о порядке опубликования государственных стандартов и общероссийских классификаторов технико-экономической информации;

Положение о государственных научных метрологических центрах;

Положение о метрологическом обеспечении обороны в РФ.

Указанное Постановление требует осуществлять меры по применению международных стандартов, признанию международных стандартов, а также обеспечить ускорение проведения работ по обязательной и добровольной сертификации продукции и международному признанию отечественных сертификатов.

Постановление обязало Госстандарт, Министерство обороны РФ и Государственный комитет РФ по оборонным отраслям промышленности и др. органы разработать мероприятия по организации совместных работ в области стандартизации, метрологии и сертификации общей техники и подготовить соответствующие предложения.

В соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений» (ст.13) Министерству финансов РФ, Министерству экономики РФ и министерству науки и технической политики РФ предусмотреть выделение из федерального бюджета Госстандарту средства для проведения работ, подлежащих обязательному государственному финансированию.

Постановлением №100 также введены:

- «Положение о порядке опубликования государственных стандартов и общероссийских классификаторов технико-экономической информации»;
- «Порядок утверждения положений о метрологических службах федеральных органов исполнительной власти и юридических лиц».

Так, Положения о метрологических службах утверждаются руководителями федеральных органов исполнительной власти или предприятия, организаций, учреждений, являющихся юридическими лицами.

Создание метрологических служб является обязательным, когда государственный метрологический контроль и надзор распространяется на:

1. здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
 2. торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;
 3. обеспечение обороны государства;
 4. обязательную сертификацию продукции и услуг и др. работы и операции.
- «Положение о порядке создания и правилах пользования федеральным фондом государственных стандартов, общероссийских классификаторов технико-экономической информации, международных (региональных) стандартов, правил, норм рекомендаций по стандартизации, национальных стандартов зарубежных стран»;
 - «Положение о государственных научных центрах», где оговаривается, что обязательному государственному финансированию за счет средств, выделяемых из федерального бюджета, подлежат: разработка, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов единиц величин; фундаментальные исследования в области метрологии по утвержденным Госстандартом планам; работы связанные с деятельностью государственных служб времени и частоты, государственной службы стандартных образцов свойства и состава веществ и материалов и работы др. государственных служб, разработка утверждаемых Госстандартом НД по обеспечению единства измерений.

- «Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений»;
- «Положение о метрологическом обеспечении обороны в Российской Федерации». Основными функциями метрологических служб в сфере обороны являются:
 1. разработка и применение метрологических правил, положений и норм, осуществление метрологического контроля и надзора, проведение метрологической экспертизы, военно-метрологическое сопровождение разработки, производства и испытаний вооружения и военной техники;
 2. проведение военно-научных исследований, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в области метрологического обеспечения обороны, в том числе по повышению живучести, автономности, мобильности и оперативности войсковой системы обеспечения единства измерений.

Глава 8. Государственный контроль и надзор.

8.1. Государственный метрологический контроль и надзор.

Государственный метрологический контроль и надзор осуществляется Государственной метрологической службой Госстандарта России.

Государственный метрологический контроль включает:

- утверждение типа средств измерений;
- поверку средств измерений, в том числе эталонов;
- лицензирование деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор осуществляется:

- за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами единиц величин, соблюдением метрологических правил и норм;
- за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Сферы распространения государственного метрологического контроля и надзора

Государственный метрологический контроль и надзор, осуществляется с целью проверки соблюдения метрологических правил и норм и распространяется на:

- 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;
- обязательную сертификацию продукции и услуг;
- измерения, производимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации;
- регистрацию национальных и международных спортивных рекордов.

Государственный метрологический контроль и надзор могут быть распространены и на другие сферы деятельности нормативными актами республик в составе Российской Федерации, автономных областей, автономных округов, краев, областей, городов Москвы и Санкт-Петербурга.

8.2. Утверждение типа средств измерений.

1. В сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора средства измерений подвергаются обязательным испытаниям с последующим утверждением типа средств измерений. Решение об утверждении типа средств измерений принимается Госстандартом России и удостоверяется сертификатом об утверждении типа средств измерений. Срок действия этого сертификата устанавливается при его выдаче Госстандартом России. Утвержденный тип средств измерений вносится в Государственный реестр средств измерений, который ведет Госстандарт России. Порядок ведения Государственного реестра средств измерений указан в Пр.50.2.011-94.

2. Испытания средств измерений для целей утверждения их типа проводятся государственными научными метрологическими центрами Госстандарта России, аккредитованными им в качестве государственных центров испытаний средств измерений. Требования к государственным центрам испытаний средств измерений и порядок их аккредитации изложены в Пр.50.2.010-94.

Решением Госстандарта России в качестве государственных центров испытаний средств измерений могут быть аккредитованы и другие специализированные организации.

3. Для проведения испытаний образцы средств измерений с соответствующими нормативными и эксплуатационными документами должны быть представлены в установленном Госстандартом России порядке.

4. Соответствие средств измерений утвержденному типу на территории Российской Федерации контролируется органами Государственной метрологической службой по месту расположения изготовителей или пользователей.

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

6. Информация об утверждении типа средств измерений и решение о его отмене публикуется в официальных изданиях Госстандарта России.

7. Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений определяют правила Пр.50.2.009-94. В части средств измерений военного назначения этот порядок регламентируется ГОСТ РВ 560-95 "ГСИ. СИ ВН. Испытания и утверждение типа."

Поверка средств измерений

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

Поверка средств 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.

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

2. По решению Госстандарта России право поверки средств измерений может быть предоставлено аккредитованным метрологическим службам юридических лиц. Деятельность этих

метрологических служб осуществляется в соответствии с действующим законодательством и нормативными документами по обеспечению единства измерений. Порядок аккредитации определяется Правительством Российской Федерации. Правила проведения аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений изложены в Пр.50.2.014-94.

3. Поверка средств измерений осуществляется физическим лицом, аттестованным в качестве поверителя органом Государственной метрологической службы.

Поверочная деятельность, осуществляемая аккредитованными метрологическими службами юридических лиц, контролируется органами Государственной метрологической службы по месту расположения этих юридических лиц (региональными органами Госстандарта).

Ответственность за надлежащее выполнение поверочных работ и соблюдение требований соответствующих нормативных документов несет соответствующий орган Государственной метрологической службы или юридическое лицо, метрологической службой которого выполнены поверочные работы.

4. В сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора юридические и физические лица, выпускающие средства измерений из производства или ремонта, ввозящие средства измерений и использующие их в целях эксплуатации, проката или продажи, обязаны своевременно представлять средства измерений на поверку.

5. Организация и порядок проведения поверки средств измерений установлен Госстандартом России в виде правил Пр.50.2.006-94.

6. Положительные результаты поверки средств измерений удостоверяются поверительным клеймом или свидетельством о поверке.

Форма поверительного клейма и свидетельства о поверке, порядок нанесения поверительного клейма устанавливаются Госстандартом России.

7. При выполнении поверочных работ на территории отдельного региона с выездом на место эксплуатации средств измерений орган исполнительной власти этого региона обязан оказывать поверителям содействие, в том числе:

- предоставлять им соответствующие помещения;

- обеспечивать их вспомогательным персоналом и транспортом;
- извещать всех владельцев и пользователей средств измерений о времени поверки.

8.3. Лицензионная деятельность.

1. Деятельность по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений, применяемых в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора, может осуществляться юридическими и физическими лицами лишь при наличии лицензии, выдаваемой в порядке, устанавливаемом Госстандартом России.

2. Лицензирование деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату 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.

3. В случае нарушения установленных пунктом 2 настоящей статьи условий лицензия аннулируется.

4. Порядок лицензирования деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату СИ определен Пр.50.2.005-94.

Государственный метрологический надзор.

Государственный метрологический надзор за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами, соблюдением метрологических правил и норм осуществляется в порядке, установленном Госстандартом России.

Государственный метрологический надзор за количеством товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций, осуществляется в целях определения массы, объема, расхода или других величин, характеризующих количество этих товаров.

Порядок проведения указанного вида государственного метрологического надзора устанавливается Госстандартом России в соответствии с законодательством Российской Федерации.

Государственный метрологический надзор за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже осуществляется в случаях, когда содержимое упаковки не может быть изменено без ее вскрытия или деформации, а масса, объем, длина, площадь или другие величины, указывающие количество содержащегося в упаковке товара, обозначены на упаковке.

Порядок проведения указанного вида государственного метрологического надзора установлен Госстандартом России в соответствии с законодательством Российской Федерации. Правила Пр.50.2.002-94 определяют порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм.

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.

Государственные инспекторы, осуществляющие на соответствующей территории государственный метрологический контроль и надзор, при предъявлении служебного удостоверения вправе беспрепятственно:

- посещать объекты, где эксплуатируются, производятся, ремонтируются, продаются, содержатся или хранятся средства

измерений независимо от подчиненности и форм собственности этих объектов;

- проверять соответствие используемых единиц величин, допущенным к применению;
- проверять средства измерений, проверять их состояние и условия применения, а также соответствие утвержденному типу средств измерений;
- проверять применение аттестованных методик выполнения измерений (МВИ), состояние эталонов, применяемых для поверки средств измерений;
- проверять количество товаров, отчуждаемых при совершении торговых операций;
- отбирать образцы продукции и товаров, а также фасованных товаров в упаковках любого вида для осуществления надзора;
- использовать технические средства и привлекать персонал объекта, подвергаемого государственному метрологическому контролю и надзору.

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 не поверенных;
- гасить поверительные клейма или аннулировать свидетельство о поверке в случаях, когда средство измерений дает неправильные показания или просрочен межповерочный интервал;
- при необходимости изымать средство 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.

Методики выполнения измерений

С 1 июля 1998 г. в связи с введением ГОСТ Р 8.563.96 все МВИ, используемые в сфере распространения государственного метрологического контроля и надзора, должны быть аттестованы специально аккредитованными на это право метрологическими службами юридических лиц. Порядок разработки и аттестации их определены ГОСТ Р 8.563-96 «ГСИ. МВИ».

Порядок и правила проведения аккредитации метрологических служб юридических лиц на право аттестации МВИ и проведения метрологической экспертизы документов изложены в Пр.50.2.013-94.

Калибровка и сертификация средств измерений

Вне сферы государственного метрологического контроля и надзора осуществляется добровольная сертификация СИ и их калибровка.

Добровольная сертификация средств измерений производится в соответствии с действующим законодательством Российской Федерации.

Средства измерений, не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже.

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

Калибровка средств измерений производится метрологическими службами юридических лиц с использованием эталонов, соподчиненных государственным эталонам единиц величин.

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

Требования к выполнению калибровочных работ заданы правилами Пр.50.2.016-94.

На основе договоров, заключаемых с государственными метрологическими центрами или органами Государственной метрологической службы, заинтересованные метрологические

службы юридических лиц могут быть аккредитованы на право проведения калибровочных работ.

Аккредитованным метрологическим службам юридических лиц предоставляется право выдавать сертификаты о калибровке от имени органов и организаций, которые их аккредитовали.

Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ установлен правилами Пр.50.2.018-95.

Глава 9. Метрологическая служба Российской Федерации.

Организационной основой Государственной системы обеспечения единства измерений является метрологическая служба Российской Федерации. До распада СССР существовала Государственная метрологическая служба, включающая в себя соответствующие управления Госстандарта СССР, его научно-исследовательские институты, территориальные центры по стандартизации и метрологии, ведомственные метрологические службы с центральными, головными и базовыми организациями, а также метрологические службы предприятий и организаций. В настоящее время метрологическая служба Российской Федерации находится в стадии становления. Сейчас она возглавляется Госстандартом России и включает в себя:

- управление метрологии Госстандарта РФ;
- управление Государственного контроля и надзора Госстандарта РФ;
- научно-технические и комитеты Госстандарта РФ;
- Государственные научные центры;
- территориальные органы - Государственные органы метрологической службы (ГОМС) на территориях субъектов Федерации;
- Государственные службы по обеспечению единства измерений: Государственная служба времени и частоты (ГССВЧ), Государственная служба стандартных справочных данных ГСССД), Государственная служба стандартных образцов (ГССО);
- метрологические службы Федеральных органов исполнительной власти;
- службы главных метрологов в центральном аппарате;
- головные и базовые организации метрологических служб (ГОМС и БОМС, соответственно) отраслей;
- измерительные лаборатории (центры);
- метрологические службы юридических лиц;
- специализированные службы предприятий.

Особенностью принятой в настоящее время метрологической службы Российской Федерации является то, что на метрологические службы федеральных органов исполнительной власти, службы главных

метрологов в центральном аппарате, головные и базовые организации метрологических служб, измерительные лаборатории (центры) и метрологические службы юридических лиц государственные функции возлагаются лишь частично.

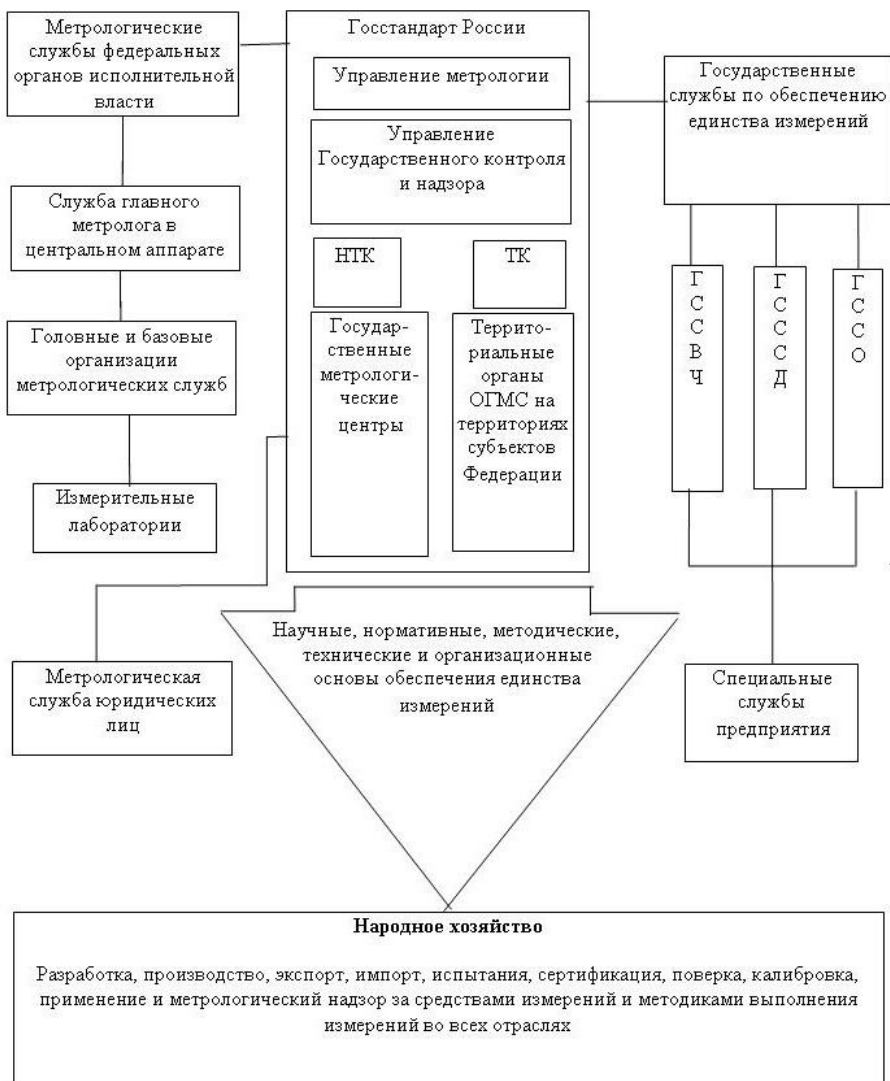


Рис. 9.1.

Предполагается, что в дальнейшем круг государственных функций будет расширен.

Схема метрологической службы Российской Федерации представлена на рис. 9.1.

Представленные на схеме участники метрологической службы Российской Федерации создают научные, нормативные, методические, технические и организационные основы обеспечения единства измерений, что в конечном итоге позволяет хозяйству страны разрабатывать, производить, экспортировать, импортировать, производить испытания, поверку и калибровку средств измерения, правильно их использовать и получать достоверную измерительную информацию.

Глава 10. Основы метрологической экспертизы.

Метрологическая экспертиза (МЭ) является одной из составляющих метрологического обеспечения. Различают метрологическую экспертизу документации и метрологическую экспертизу образцов продукции.

10.1. Метрологическая экспертиза технической документации.

Поскольку техническая документация включает в себя как конструкторскую (КД), так и технологическую (ТД) документацию, то может проводиться МЭ КД, включающей чертежи, текстовые документы и др., и МЭ ТД, включающей маршрутные и операционные карты, карты эскизов, технологических процессов, типовых операций, технологический регламент и др. МЭ этих двух видов технической документации имеет некоторое различие. Далее об этом будет сказано.

Метрологическая экспертиза документации - это ее анализ с целью оценки технических решений по выбору параметров, подлежащих измерению и контролю, установленных норм точности, обеспечению методами и средствами измерений процессов разработки, изготовления, испытаний, эксплуатации, ремонта и утилизации изделий, правильности задания и записи значений измеряемых и контролируемых параметров. В таблице 10.1 представлен примерный перечень конструкторской и технологической документации, подвергаемой МЭ.

Для вновь разрабатываемых изделий МЭ подвергается техническое задание (ТЗ), программа предварительных испытаний и методики выполнения измерений. Для испытательного оборудования, кроме представленных документов, МЭ подвергаются программы и методики первичной и периодических аттестаций.

МЭ КД и ТД осуществляется в соответствии с требованиями стандартов Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ), Единых систем конструкторской и технологической документации (ЕСКД и ЕСТД), Единой системы технологической подготовки производства (ЕСТПП) и других Государственных стандартов, устанавливающих соответствующие правила, положения и нормы. В ходе проведения МЭ документации решаются задачи, представленные в таблице 10.2.

В таблице знаком «+» отмечены задачи, решаемые при проведении МЭ соответствующих документов. Приведенные задачи могут дополняться и конкретизироваться при проведении МЭ на конкретных предприятиях с учетом специфики разрабатываемой и выпускаемой продукции.

Необходимо отметить, МЭ подвергается документация на впервые изготавливаемые и модернизируемые образцы продукции, а также изделия, предназначенные для экспорта или имеющие значительное число рекламаций.

Помимо документации на сами изделия, МЭ подвергается вся документация на испытательное оборудование, предназначенное для испытаний вновь разрабатываемых и модернизируемых изделий.

За организацию и проведение МЭ документации несет ответственность руководитель подразделения, разработавшего данную документацию (начальник бюро, отдела). Работы по проведению МЭ и контроль за ее состоянием осуществляет заместитель руководителя предприятия или лицо, им уполномоченное через главного метролога и руководителей метрологических подразделений на предприятии.

При проведении МЭ документации на вновь разрабатываемое или глубоко модернизированное изделие, а также документации, пришедшей от стороннего разработчика, оформляется Заключение по результатам проведения МЭ. Во всех других случаях оформляется Акт, в трех экземплярах.

В качестве примера в таблице 10.3 приведены результаты МЭ документации конкретного изделия.

**Перечень конструкторских и технологических документов,
подвергаемых метрологической экспертизе**

Таблица 10.1

Конструкторские документы	Технологические документы
1. Чертеж детали	1. Маршрутная карта
2. Сборочный чертеж	2. Операционная карта
3. Габаритный чертеж	3. Карта эскизов
4. Монтажный чертеж	4. Технологические инструкции
5. Пояснительная записка	5. Ведомость оснастки
6. Технические условия	6. Карта технологического процесса
7. Программа и методика испытаний	7. Карта типового технологического процесса
8. Расчеты	8. Карта типовой операции
9. Эксплуатационные документы	9. Карта технологического процесса
10. Ремонтные документы	10. Операционная карта технологического контроля
11. Спецификация	11. Карты регистрационных результатов
	12. Карты измерений
	13. Ведомости операций технического контроля
	14. Карты входного контроля

Таблица 10.2

№ п/п	Задачи экспертизы	Конструкторская документация	Технологическая документация
1.	Оценка оптимальности выбранной номенклатуры измеряемых и контролируемых параметров, а также норм точности измерений с целью обеспечения эффективности и достоверности контроля качества и взаимозаменяемости	+	+
2.	Оценка правильности форм записи измеряемых и контролируемых параметров, их значений, наименований и обозначений физических величин и их единиц	+	+
3.	Оценка обеспечения конструкцией изделия возможности контроля необходимых параметров на всех стадиях жизненного цикла изделия (контролепригодность, возможность доступа средствами измерения к измеряемому параметру)	+	
4.	Установление соответствия показателей точности измерений требованиям эффективности и достоверности контроля и взаимозаменяемости	+	
5.	Установление соответствия показателей точности измерений требованиям обеспечения оптимальных режимов технологических процессов		+

№ п/п	Задачи экспертизы	Конструкторская документация	Технологическая документация
6.	Установление полноты и правильности требований к средствам измерений, а также методикам выполнения измерений	+	+
7.	Оценка правильности выбора СИ и МВИ, применяемых в конструкции изделия, в процессе его изготовления, испытаний, эксплуатации, ремонта и утилизации.	+	+
8.	Выявление возможности преимущественного применения унифицированных, автоматизированных СИ, обеспечивающих получение заданной точности измерений и необходимой производительности.	+	+
9.	Оценка обеспечения применимости выбранными СИ минимальной трудоемкости и себестоимости контрольных операций при заданной точности		+
10.	Установление преимущественного применения стандартизованных или аттестованных МВИ	+	+
11.	Оценка соответствия производительности СИ производительности технологического оборудования		+

№ п/п	Задачи экспертизы	Конструкторская документация	Технологическая документация
12.	Определение целесообразности обработки на ЭВМ результатов измерений, наличия стандартных и (или) специальных программ обработки и соответствия их требованиям, предъявляемым к обработке результатов измерений (округление, разрядность и др.)	+	+
13.	Оценка правильности применения метрологических терминов	+	+
14.	Проверка наличия и правильности указаний по организации и проведению измерений для обеспечения безопасности труда	+	+
15.	Оценка соответствия выбранных СИ разрешенным для применения в данной отрасли	+	+
16.	Установления соответствия условий выполнения измерений (в том числе в составе изделия) условиям нормальной работы выбранных СИ	+	+

Таблица 10.3

№ п/п	Задачи, решаемые в процессе проведения метрологической экспертизы	Результаты метрологической экспертизы	Замечания, предложения
1.	Оценка оптимальности выбранной номенклатуры измеряемых параметров и норм точности измерений с целью обеспечения эффективности и достоверности контроля качества и взаимозаменяемости	Выбранная номенклатура измеряемых и контролируемых параметров соответствует требованиям ТТЗ. Опыт создания и эксплуатации базового автомобиля ГАЗ-2705 показал достаточную эффективность и достоверность контроля качества всей машина в целом, основных узлов и агрегатов, а также их взаимозаменяемость.	
2.	Оценка правильности форм записи измеряемых параметров, их значений, наименований и обозначений физических величин и их единиц.	В основном форма записи измеряемых параметров, их значений и наименований физических величин, соответствует требованиям ГОСТ 2.105-89 и ГОСТ 8.417-86. Форма записи значений физических величин с заданием допусков на них во всем тексте не соответствует требованиям НД. Например, записано 750+50 1/мин, надо $(750+50) \text{ мин}^{-1}$	Встречаются записи: л.с/об.мин, надо л.с·мин ⁻¹ , км/час, надо км/ч и др. согласно МТТЗ. Необходимо привести в соответствие с требованиями НД.

№ п/п	Задачи, решаемые в процессе проведения метрологической экспертизы	Результаты метрологической экспертизы	Замечания, предложения
3.	<p>Оценка обеспечения конструкцией изделия возможности контроля необходимых параметров на всех стадиях жизненного цикла изделия (контролепригодность, возможность доступа средствами измерений к измерительному параметру).</p>	<p>Конструкция и технология изготовления деталей, обеспечивающих сохранение базовых и установочных поверхностей, необходимых при обработке и установки узлов, агрегатов, позволяют обеспечить достаточно надежный контроль необходимых параметров в процессе изготовления. Компоновка автомобиля и применяемые СИ позволяют контролировать необходимые параметры в процессе эксплуатации и ремонте машины скорой медицинской помощи.</p>	<p>Хотя конструкция позволяет обеспечить измерение и контроль всех необходимых параметров, однако СИ для этого указаны не везде. Так например, в табл. На стр. 15 в п. 7.2 не указано чем измерить температуру (15...20) °С и расстояние 25 мм положения педали тормоза от пола, а также уровня охлаждающей жидкости (3...5) см. Целесообразно на расширительном бочке нанести еще одну метку, на 5 см выше существующей, а в тексте п. 7 ТО указать «между двумя метками». На стр. 16 в п. 7.3 не указано о проверке работоспособности системы рециркуляции отработанных газов. Указать какой уровень топлива в поплавковой камере.</p>

№ п/п	Задачи, решаемые в процессе проведения метрологической экспертизы	Результаты метрологической экспертизы	Замечания, предложения
4.	Установление соответствия показателей точности измерений требованиям эффективности и достоверности контроля и взаимозаменяемости.	Выбранные значения показателей точности измерений соответствуют требованиям НД. Это позволяет достигнуть необходимую эффективность и достоверность результатов измерений, чем и обеспечивается выполнение требований взаимозаменяемости	

10.2. Метрологическая экспертиза опытных образцов.

В соответствии с требованиями существующей в настоящее время НД обязательная метрологическая экспертиза опытных образцов должна проводиться только в случаях, предусмотренных законодательством РФ. Во всех других случаях она является добровольной, и ее проведение зависит от желания изготовителя.

Метрологическая экспертиза опытных образцов сложных инженерно-технических комплексов и объектов (образцов) проводится на стадиях жизненного цикла, установленных техническими требованиями. Она является неотъемлемой составной частью контроля качества вновь разрабатываемой продукции и проводится в целях повышения метрологического обеспечения, требуемого качества и снижения трудозатрат на разработку и производство новой продукции.

Основными задачами МЭ изделий являются:

- оценка обоснованности выбора контролируемых и измеряемых параметров разрабатываемого изделия, допустимых пределов их изменения (значений допустимых отклонений);
- оценка обоснованности назначения показателей метрологического обеспечения, включая показатели точности измерений параметров изделий;
- оценка возможности обеспечения контроля параметров изделия в процессе его изготовления, испытаний и эксплуатации с помощью выбранных средств (систем) измерений и измерительного контроля (контроле пригодность);
- оценка эффективности системы измерений и контроля с учетом:
 1. правильности выбора методов и средств измерений и измерительного контроля для обеспечения необходимой точности измерений параметров и заданной достоверности контроля;
 2. схемы передачи размеров единиц физических величин;
 3. допустимого времени и трудозатрат на проведение измерений при эксплуатации;
 4. возможности метрологического обслуживания средств измерений в процессе эксплуатации, включая соблюдение

соответствия периодичности поверки средств измерений периодичности технического обслуживания изделия;

5. метрологической надежности СИ;
 6. степени автоматизации, унификации и стандартизации средств и методов измерений;
 7. возможности использования стандартных образцов;
- установление технико-экономической целесообразности разработки и применения специальных СИ для испытаний и эксплуатации создаваемых изделий;
 - определение необходимости создания новых образцовых СИ (рабочих эталонов), предназначенных для поверки СИ в процессе эксплуатации изделия;
 - оценка правильности выбора и применения всего испытательного оборудования (ИО) и СИ, используемых при проведении предварительных испытаний с учетом требований автоматизации процессов измерений, обработки их результатов, регистрации и хранения измерительной информации;
 - оценка соответствия реализованных в изделии требований по метрологическому обеспечению заданным в техническом задании.

По результатам проведения МЭ составляется соответствующее заключение (или акт), в котором обязательно отмечаются замеченные недостатки и даются предложения по их устранению.

Порядок проведения и содержание МЭ определяются программой проведения МЭ. В программе должны быть установлены объем, последовательность и виды работ, проводимых при МЭ опытных образцов вновь создаваемых изделий.

В программе должны быть представлены следующие разделы:

- общие положения;
- объект экспертизы;
- цель и задачи экспертизы;
- порядок проведения экспертизы;
- методика проведения экспертизы;
- материально-техническое обеспечение;
- отчетность.

В программе также могут быть приложения, в которых рекомендуются формы заполнения по результатам проведения МЭ, формы протоколов и др.

Глава 11. Метрологическое обеспечение изделий на стадиях их жизненного цикла.

11.1 Цели и задачи метрологического обеспечения изделий на стадиях их жизненного цикла.

Повышение эффективности производства и качества продукции не возможно без достижения необходимой достоверности количественной информации о значениях параметров, характеризующих выпускаемую продукцию. Источниками информации являются измерения. Причем, результаты измерений будут объективными и достоверными только при правильной организации получения измерительной информации. Это невозможно достичь без надлежащего метрологического обеспечения.

Метрологическое обеспечение - широкое понятие, требующее обязательного уточнения в зависимости от стоящих перед ним задач. Допускается применение терминов «метрологическое обеспечение измерений», «метрологическое обеспечение производства», «метрологическое обеспечение систем качества», «метрологическое обеспечение стандартизации» и ряда других.

Под метрологическим обеспечением принято понимать: **комплекс мероприятий по установлению и применению научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства, а также точности, полноты, своевременности, оперативности измерений, достоверности контроля параметров и характеристик объектов.**

Цели метрологического обеспечения:

- достижение и поддержание высоких эксплуатационных свойств, эффективности, надежности, увеличение срока службы, сохраняемости изделий;
- повышение эффективности работ по созданию новых образцов, сокращение сроков их разработки, производства и испытаний, уменьшение стоимости и повышение качества;
- упрощение эксплуатации и ремонта изделий;
- обеспечение постоянной готовности к применению и эффективности эксплуатации средств измерений.

Достигаются эти цели обеспечением требуемой точности, достоверным и правильным измерением параметров и характеристик

продукции при разработке, производстве и эксплуатации, а также параметров технологических процессов, постоянной готовностью и высокой эффективностью применения средств измерений и контроля. Указанные цели достигаются путем решения следующих *задач метрологического обеспечения*:

- определение основных направлений его развития и возможностей наиболее эффективного использования научных и технических достижений в метрологии и измерительной технике;
- разработка научно-методических, технико-экономических, правовых и организационных основ;
- установление допускаемых к применению единиц физических величин и допусков на них;
- стандартизация правил и положений в области метрологического обеспечения разработки, производства и эксплуатации продукции;
- определение на научной основе рациональной номенклатуры измеряемых параметров, допускаемых пределов и погрешностей их измерений при заданной доверительной вероятности;
- установление единых методов передачи размеров единиц физических величин от эталонов и образцовых средств измерений к рабочим средствам измерений;
- определение номенклатуры технических средств метрологического обеспечения (эталонов, средств измерений и измерительного контроля, стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов), их создание, хранение и применение;
- установление требований и нормирование метрологических характеристик средств измерений и измерительного контроля, применяемых при создании, эксплуатации и утилизации продукции;
- обеспечение разрабатывающих, выпускающих и эксплуатирующих продукцию организаций рабочими эталонами, образцовыми и рабочими средствами измерений;
- проведение анализа состояния метрологического обеспечения с применением количественных критериев оценки эффективности мероприятий по совершенствованию

измерений, оптимизации образцовых и рабочих средств измерений;

- проведение метрологической экспертизы документации и опытных образцов продукции.

Метрологическое обеспечение сопровождает изделие на всех стадиях ее жизненного цикла, включающего:

1. Исследование и обоснование разработки.
 - 1.1. Разработка технического предложения.
 - 1.2. Разработка, согласование и утверждение тактико-технического задания.
2. Разработка.
 - 2.1. Разработка эскизного проекта.
 - 2.2. Разработка технического проекта.
 - 2.3. Разработка конструкторской документации.
 - 2.4. Изготовление опытного образца изделия (составной части) и проведение предварительных испытаний.
 - 2.5. Подготовка к государственным испытаниям.
 - 2.6. Государственные испытания.
3. Производство.
4. Эксплуатация.
5. Капитальный ремонт.
6. Утилизация.

Рассмотрим основные цели и задачи метрологического обеспечения, решаемые на каждой стадии жизненного цикла продукции.

На 1-й стадии жизненного цикла основными целями метрологического обеспечения исследования и обоснования разработки образца являются достижение требуемых характеристик разрабатываемых изделий путем научно-обоснованного выбора методов измерений, определение выбора совокупности подлежащих измерениям параметров и характеристик, установление значений допустимых отклонений на каждый из параметров, с учетом условий проведения измерений, использования необходимых средств, обеспечивающих надежное и достоверное измерение и контроль выбранных параметров изделий, а также обработки их результатов стандартными или вновь разработанными методиками.

Основные задачи метрологического обеспечения в процессе исследования и обоснования разработки следующие:

- предварительное определение номенклатуры измеряемых параметров изделия и его составных частей, нормирование выбранных параметров, определение требований к погрешности измерений параметров;
- определение номенклатуры параметров, контролируемых в процессе эксплуатации;
- выявление особенностей метрологического обеспечения изделия и его составных частей на всех стадиях жизненного цикла;
- анализ, обоснование и формирование общих требований к метрологическому обеспечению изделия;
- оценка возможности существующего парка средств измерений для метрологического обеспечения изделий;
- предварительная проработка методов контроля технического состояния изделия;
- определение основных метрологических требований (частотный, динамичный диапазон, точность, условия эксплуатации и др.);
- разработка предложений по метрологическому обеспечению испытаний продукции;
- организация проведения, при необходимости, комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке новых средств измерений;
- разработка раздела метрологического обеспечения пояснительной записки технического предложения;
- организация и проведение метрологической экспертизы материалов технического предложения и технического задания;
- разработка плана мероприятий по устранению недостатков выявленных при проведении метрологической экспертизы технического предложения и технического задания.

На первой стадии жизненного цикла продукции исследуют и разрабатывают техническое предложение и утверждают техническое задание.

Цели 2-й стадии метрологического обеспечения продукции:

- установление (выбор) параметров продукции, подлежащих измерениям и измерительному контролю при испытаниях, производстве и эксплуатации, а также параметров

технологических процессов, контролируемых в процессе производства;

- выбор средств, обеспечивающих измерения, контроль выбранных параметров и характеристик разрабатываемой продукции, а также технологических процессов с заданной точностью;
- разработка методов и изготовление недостающих средств измерений и испытаний;
- установление соответствия достигнутой точности измерений параметров и характеристик продукции значениям, определенным при проектировании, и, при необходимости, формирование дополнительных предложений по улучшению метрологического обеспечения.

Основные задачи метрологического обеспечения на стадии разработки:

- определение и обоснование перечня измеряемых параметров и характеристик изделия, его составных частей, допускаемых отклонений на измеряемые параметры, погрешности измерений на основе анализа заданных технических характеристик изделия;
- обоснование перечня параметров, подлежащих контролю в процессе эксплуатации и требований к достоверности контроля;
- организация, при необходимости, научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке проблемных вопросов измерений и метрологического обеспечения процесса измерений, новых средств измерений, контроля и испытаний;
- установление требований по поверке (калибровке) средств измерений, входящих в состав изделия, разработка методик поверки;
- выявление особенностей метрологического обеспечения изделия и его составных частей;
- разработка разделов метрологического обеспечения пояснительной записки эскизного проекта на изделие и его составные части в соответствии с требованиями технического задания, метрологической экспертизы и других форм анализа метрологических задач;

- разработка разделов метрологического обеспечения в пояснительной записке технического проекта, программ и методик по проведению метрологической экспертизы технического проекта на изделие и его составные части, предложений по устранению недостатков, отмеченных при проведении метрологической экспертизы;
- разработка разделов (пунктов) конструкторской и технологической документации опытного образца изделия (касающихся вопросов метрологического обеспечения), системы контроля технического состояния изделия;
- проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации на изделие и его составные части (если это установлено в соответствующих документах);
- анализ состояния и организация работ по метрологическому обеспечению производства;
- проведение метрологической экспертизы поступившей предприятию-изготовителю конструкторской и технологической документации на вновь разрабатываемое изделие (если это определено соответствующими требованиями);
- оценка реальной точности измерений и достоверности контроля основных параметров;
- разработка, метрологическая аттестация и внедрение новых методик выполнения измерений для технологических процессов, испытаний и проведения технического обслуживания при эксплуатации изделий;
- обеспечение средств измерений средствами их поверки (калибровки);
- участие в разработке и проведение метрологической экспертизы программы, методики предварительных испытаний составных частей, и изделия в целом (если это предусмотрено соответствующими нормативными документами);
- участие в подготовке к государственным испытаниям;
- выполнение плана мероприятий по реализации замечаний комиссии по проведению предварительных испытаний;
- участие в разработке программы и методик государственных испытаний;

- проверка готовности метрологического обеспечения государственных испытаний;

Государственные испытания.

При проведении государственных испытаний осуществляется:

- проверка соответствия метрологического обеспечения эксплуатации изделия требованиям технического задания в соответствии с программой и методикой государственных испытаний;
- определение фактических значений основных параметров и оценка соответствия полученных значений заданным;
- проведение метрологической экспертизы продукции (в случаях, предусмотренных соответствующими нормативными документами), разработка мероприятий и устранение недостатков, изложенных в акте государственных испытаний.

Необходимо подчеркнуть, что главная цель метрологического обеспечения - достижение требуемого качества и надежности изделия. Принятие правильных решений по метрологическому обеспечению на ранних этапах разработки образца позволяет своевременно и с наименьшими экономическими затратами установить оптимальное число измеряемых параметров, определить необходимость создания новых методик выполнения измерений и средств измерений, а также гарантировать их высокую эффективность, что в конечном итоге позволяет сократить время на создание продукции и снизить затраты.

Для большей наглядности организация метрологического обеспечения на первых двух этапах жизненного цикла продукции представлена на рис.11.1.

В ходе метрологического обеспечения производства продукции, требуемые показатели качества достигаются с помощью измерительного контроля каждой операции технологического процесса. На этом этапе выполняются работы по автоматизации процессов измерений и измерительного контроля, проводится анализ и определяются методы и средства измерений в технологических процессах, разрабатываются методики выполнения измерений и проводится их аттестация, если это предусмотрено соответствующими нормативными документами, технологические процессы и техническая документация подвергаются метрологической экспертизе.



Рис.11.1.

В связи с появлением автоматизированных производств в настоящее время получил новое развитие контроль качества. В таких производствах особое внимание уделяется получению достоверной, точной и своевременной измерительной информации. Это связано с тем, что при автоматизации производства во все большей степени исключается возможность контроля человеком за ходом технологической операции и состоянием оборудования. В то же время резкое повышение производительности оборудования в условиях автоматизации приводит к тому, что нарушение технологического процесса может вызвать массовый брак и поломку оборудования. Для предотвращения этих нарушений необходимо оснастить промышленное оборудование измерительными средствами, которые следили бы за его состоянием и состоянием обрабатываемого инструмента. Также в автоматизированных производствах все более широкое применение находят роботы, возможности которых в значительной степени определяются способностью ориентироваться в окружающей обстановке, приспосабливаться к ней и реагировать на

ее изменения. Для этого они должны иметь в своем составе измерительные устройства.

Поэтому при управлении качеством производства все большее внимание уделяется контролируемости (наблюдаемости) технологического процесса.

Основными целями метрологического обеспечения продукции в процессе *производства* является выпуск предприятием продукции, соответствующей требованиям конструкторской, технологической и нормативной документации, а также предупреждение производственного брака и получение информации о качестве готовой продукции и состоянии технологического процесса.

Основными задачами метрологического обеспечения на стадии подготовки серийного *производства* являются:

- установление соответствия достигнутой точности измерений параметров и характеристик технологического процесса требованиям нормативной документации;
- выбор и назначение методов и средств измерений в технологическом процессе, разработка и аттестация методов выполнения измерений;
- автоматизация процессов измерений и поверки средств измерений;
- проведение метрологической экспертизы (в случаях, предусмотренных соответствующими НД) технологического процесса изготовления образца и технологической документации в целях анализа и оценки технических решений и уровня метрологического обеспечения;
- утверждение состава контролируемых параметров изделия, проверка наличия средств и методов контроля в соответствии с требованиями серийного производства.

Как уже было указано, метрологическое обеспечение изделий осуществляется на всех стадиях жизненного цикла продукции. Однако основная масса средств измерений и контроля используется в процессе эксплуатации изделия для контроля и прогнозирования их технического состояния, отыскания отказов и неисправностей, измерения характеристик, настройки, калибровки, юстировки и регулировки.

Метрологическое обеспечение эксплуатации продукции - это комплекс научных и организационно-технических мероприятий,

направленных на выполнение точных и своевременных измерений, соблюдение единства, требуемой точности измерений и повышение достоверности измерительного контроля параметров в процессе эксплуатации изделия.

На этой стадии метрологическое обеспечение решает следующие задачи:

- подготовка рекомендаций по совершенствованию метрологического обеспечения эксплуатации продукции;
- уточнение требований по метрологическому обеспечению;
- организация работ по повышению эффективности контроля продукции;
- формирование парка средств измерений, своевременное проведение его поверки;
- ремонт, хранение средств измерений;
- проведение работ по усовершенствованию методов передачи размеров единиц физической величины от эталонов к рабочим средствам измерений;
- обслуживание, хранение и совершенствование эталонов;
- подготовка кадров по вопросам метрологического обеспечения;
- метрологический надзор.

На всех этапах жизненного цикла продукции проводят техническое обслуживание технической базы метрологического обеспечения, представляющее собой комплекс работ по поддержанию ее исправности и работоспособности.

Цель пятой стадии жизненного цикла продукции - «Капитальный ремонт»- обеспечить соответствие метрологического обеспечения прогрессивным методикам выполнения измерений.

В основные задачи метрологического обеспечения при капитальном ремонте входит:

- анализ метрологического обеспечения ремонтного производства;
- уточнение в конструкторской и ремонтной технологической документации значений контролируемых параметров, а также параметров и характеристик технологических процессов ремонта, подлежащих изменению или контролю с нормируемой точностью и условиям выполнения измерений;

- обеспечение условий проведения измерений (температурный режим, электромагнитные поля и т.п.);
- внедрение новых методик измерений;
- обеспечение ремонтных служб предприятия средствами измерений;
- метрологический надзор за соблюдением метрологических норм и правил, за состоянием и применением средств измерений.

От уровня метрологического обеспечения на этом этапе зависит эффективность и качество капитального ремонта отремонтированной продукции.

Последний этап жизненного цикла продукции - «Утилизация» - одна из больших проблем современного производства. Утилизация приобрела по своим масштабам государственное значение.

Цель метрологического обеспечения последней стадии - «Утилизации» - переход от процессов простого уничтожения продукции (ликвидации) к промышленной утилизации, в результате которой могут получить «вторую жизнь» не только комплектующие детали, агрегаты, системы, но и все изделие в целом.

Метрологическое обеспечение на этом этапе обеспечивает возможность использования изделий, соответствующих требованиям надежности и качества при их дальнейшей эксплуатации. Метрологическое обеспечение должно обеспечить надежные и качественные измерения, соответствующие аналитические исследования состава утилизируемых материалов. По своей сути утилизация является таким же технологическим процессом, как и производство изделий.

Основной задачей метрологического обеспечения на этом этапе является создание таких условий, при которых обеспечивается возможность использования только тех изделий или материалов, которые соответствуют требованиям надежности, качества и безопасности для жизни людей и окружающей среды при дальнейшей эксплуатации.

Правильное понимание необходимости и важности целей и задач метрологического обеспечения продукции на всех стадиях ее жизненного цикла позволяет организовать надлежащее метрологическое обеспечение создаваемой, выпускаемой и эксплуатирующейся продукции, без чего нельзя добиться высокого

качества этой продукции, ее надежности и конкурентоспособности, как на внутреннем, так и на внешнем рынке.

11.2. Научные, технические и организационные основы метрологического обеспечения.

Различают научную, организационную, техническую и нормативно-методическую основы метрологического обеспечения (рис.11.2.).



Рис.11.2.

Научной основой метрологического обеспечения является метрология. Как уже отмечалось выше, она занимается общей теорией измерений, единицами физических величин, методами и средствами измерений, способами передачи размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам измерений, основами обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений.

Одной из важных проблем метрологии являются разработка и создание наиболее совершенных эталонов. Это объясняется тем, что современный научный эксперимент, изучение многих явлений микромира, работа в космосе, современные технологические процессы требуют точных измерений, сопоставимых с точностью эталонов. Главной задачей метрологии является разработка на все более высоком уровне теории средств измерений и ее практических приложений - метода выбора средств измерений по точности, определение их метрологических характеристик, правил проведения измерений и т.д. Повышение точности измерений определяется не только эталонной базой. Можно иметь совершенные эталоны, но неправильное использование рабочих средств измерений, отсутствие критериев, определяющих оптимальные условия их применения никогда не позволяет реализовать их высокие метрологические качества на практике. Поэтому, а также в связи со значительным повышением требований к точности измерений, разработка вопросов теории погрешностей сложных измерительных систем приобретает большое значение. На современном этапе теория погрешностей перешагнула рамки математической статистики и теории вероятности и все более использует методы и приемы теории информации, позволяющей формировать практические задачи и применять для их решения современный математический аппарат.

Организационной основой метрологического обеспечения является метрологическая служба РФ, состоящая из государственных метрологических служб юридических и физических лиц. Сюда же можно отнести и систему подготовки метрологов. Деятельность метрологических служб направлена на решение задач метрологического обеспечения и ориентируется Госстандартом на достижение основных целей метрологического обеспечения.

Наиболее существенной стороной метрологического обеспечения является материальная, в данном случае техническая основа: эталоны, образцовые средства измерений и поверочные установки,

рабочие меры и измерительные приборы, системы контроля и диагностики, стандартные образцы веществ и материалов. Кроме того, техническая основа включает в себя мероприятия по поддержанию необходимого качества выше перечисленных средств.

В общем, *техническая основа метрологического обеспечения* представляет собой следующую совокупность:

- система государственных эталонов единиц физических величин, обеспечивающая воспроизведение единиц с наивысшей точностью;
- система передачи размеров единиц физических величин от эталонов всем средствам измерений с помощью образцовых средств измерений и других средств поверки;
- система разработки, постановки на производство и выпуска в обращение рабочих средств измерений, обеспечивающих определение с требуемой точностью характеристик продукции, технологических процессов и других объектов в сфере материального производства, при научных исследованиях и других видах деятельности;
- система обязательных государственных испытаний средств измерений, предназначенных для серийного или массового производства и ввоза их из-за границы партиями, обеспечивающая единообразие средств измерений при разработке и выпуске в обращение;
- система обязательной государственной и ведомственной поверки средств измерений, обеспечивающая единообразие средств измерений при их изготовлении, эксплуатации и ремонте;
- система стандартных образцов состава и свойства веществ и материалов, обеспечивающая воспроизведение единиц величин, характеризующих состав и свойства веществ и материалов;
- система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов, обеспечивающая достоверными данными научные исследования, разработку технологических процессов и конструкций изделий, процессов получения и использования материалов.

Таким образом, *технические основы метрологического обеспечения* представляют собой совокупность технических средств (эталоны, образцовые и рабочие средства измерений, меры, включая стандартные образцы состава и свойств веществ), правил, норм, положений и требований к их использованию в соответствии с назначением, а также проведению поверок и контроля перед выпуском в обращение, после ремонта и при эксплуатации.

Нормативно-методическую основу метрологического обеспечения устанавливают в стандартах Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ). ГСИ представляет собой комплекс установленных стандартами взаимосвязанных правил, положений, требований и норм, определяющих организацию и методику проведения работ по оценке и обеспечению точности измерений. Основными объектами стандартизации ГСИ являются:

- единицы физических величин;
- государственные эталоны и поверочные схемы;
- методы и средства поверки средств измерений;
- нормы точности измерений;
- способы выражения и формы представления результатов измерений и показателей точности измерений;
- методики выполнения измерений;
- методики оценки достоверности и формы представления данных о свойствах веществ и материалов;
- требования к стандартным образцам состава свойств веществ и материалов;
- организация и порядок проведения государственных испытаний поверки и метрологической аттестации измерений, метрологической экспертизы нормативно-технической, проектной, конструкторской и технологической документации, экспертизы и аттестации данных о свойствах веществ и материалов;
- термины и определения в области метрологии.

Стандартизация указанных объектов позволяет гарантировать единство средств измерений за счет поверок в порядке, предусмотренном общественными поверочными схемами, и тем самым подчинение единому эталону и, что не менее важно, обеспечить единообразие методов и средств поверки, методик

выполнения и т.д. вплоть до форм представления конечных результатов.

Качественная обработка документов по метрологическому обеспечению продукции предполагает регламентирование прогрессивных правил и норм метрологического обеспечения, позволяющих достичь максимально возможной производительности, экономии природных ресурсов и снижение материальных затрат.

Глава 12. Экономика метрологического обеспечения.

12.1. Оценка экономической эффективности метрологического обеспечения.

Экономическая эффективность является важнейшим критерием оценки результатов работы по совершенствованию метрологического обеспечения.

Результаты расчетов используются для экономического обоснования планов и комплексных программ совершенствования метрологического обеспечения, целесообразности включения научно-исследовательских работ на разработку образцовых и рабочих средств измерений, методов измерений, стандартов по метрологическому обеспечению и т.п., технико-экономического обоснования экономической эффективности разработки новых СИ, информационно-измерительных систем и методов выполнения измерений, а также анализа работы существующих и организации новых метрологических служб.

Экономическая эффективность метрологических работ оценивается на всех стадиях реализации программ совершенствования метрологического обеспечения. В этой связи различают предварительную, ожидаемую и фактическую экономическую эффективность. Предварительная определяется на стадии постановки метрологических научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ и на стадии разработки программ и планов мероприятий по совершенствованию метрологического оборудования. Ожидаемая экономическая эффективность рассчитывается при внедрении в метрологическую практику новой измерительной техники, новых организационных форм выполнения метрологических работ, при утверждении программ и планов мероприятий по совершенствованию метрологического обеспечения и т.д. Фактическая экономическая эффективность определяется при внедрении в практику метрологической службы новой техники, после выполнения программ и планов с учетом реально получаемых экономических результатов и служит основанием для экономического стимулирования.

Экономическая эффективность определяется путем расчета и сопоставления технико-экономических показателей различных вариантов решения одной и той же проблемы. За базу сравнения

принимаются технико-экономические показатели и уровень метрологического обеспечения лучшей метрологической техники, лучших заменяемых форм и методов выполнения метрологических работ в году, непосредственно предшествующем расчетному. За расчетный год принимается год достижения поставленной цели - завершение этапа мероприятий по совершенствованию метрологического обеспечения путем внедрения различных новых мероприятий, предусмотренных соответствующими программами (планами), и начало получения ожидаемых экономических результатов.

Показателями экономической эффективности являются:

\mathcal{E} - общий по всем областям хозяйства страны (интегральный) экономических эффект за расчетный период времени T_p ;

\mathcal{E}_r - среднегодовой интегральный экономический эффект на предприятии;

расчетный коэффициент E_p экономической эффективности и срок окупаемости T_o дополнительных капитальных вложений, необходимых для получения \mathcal{E}_r .

При оценке хозяйственной экономической эффективности определяются следующие показатели:

$\mathcal{E}_{п.р.г}$ - среднегодовой экономический эффект (дополнительная прибыль) объединения (предприятия);

P - рентабельность капитальных вложений в мероприятия по метрологическому обеспечению (сравнивается с отраслевым значением данного показателя);

расчетный коэффициент E_p^X экономической эффективности и срок окупаемости T_o^X дополнительных капитальных вложений, связанных с реализацией комплексных программ и планов мероприятий по совершенствованию метрологического обеспечения производства.

В соответствии с задачами метрологического обеспечения среднегодовой экономический эффект \mathcal{E}_r определяется по следующим направлениям совершенствования метрологического обеспечения (табл. 12.1).

Годовой интегральный экономический эффект от внедрения новой техники долговременного применения (со сроком службы больше одного года) с улучшенными качественными характеристиками (производительность, надежность, издержки эксплуатации и т.д.) может быть определен следующим образом:

Таблица 12.1

Мероприятия	Возможные источники образования экономической эффективности	Затраты на проведение работ
<u>1. Разработка и внедрение новых средств и методов измерений.</u>		
Замена СИ более современным	1.Сокращение эксплуатационных затрат на обслуживание СИ 2.Снижение потерь от погрешности измерений	Затраты на приобретение СИ, их транспортировку, монтаж и обслуживание
Разработка и внедрение новых методов измерений	1.Снижение потерь от погрешности измерений 2.Уменьшение затрат на проведение измерений	Затраты на разработку нового метода, приобретение оборудования и СИ
<u>2. Разработка и внедрение новых средств и методов технического и метрологического обслуживания СИ.</u>		
Организация калибровки и ремонта силами предприятия	1.Снижение текущих затрат на поверку, транспортировку и подготовку приборов 2.Снижение затрат на приобретение и обслуживание резервных СИ	1.Приобретение и обслуживание поверочного оборудования 2.Дополнительные затраты на поверку и ремонт
Разработка и внедрение образцовых СИ и поверочного оборудования	1.Повышение производительности и точности поверочных работ 2.Снижение потерь в сфере использования рабочих СИ, поверяемых с помощью нового поверочного оборудования	1.Затраты на разработку, освоение и изготовление новых СИ и поверочного оборудования 2.Затраты на обслуживание новых СИ и поверочного оборудования

Мероприятия	Возможные источники образования экономической эффективности	Затраты на проведение работ
Внедрение новых методов и средств поверки	То же	Дополнительные затраты на поверочное оборудование и сопутствующие капитальные вложения
Аттестация МВИ	Улучшение качества измерений	Затраты на проведение аттестации
Разработка и внедрение стандартных образцов веществ и материалов	1. Сокращение затрат на поверку и обслуживание СИ 2. Снижение потерь от погрешности измерений и контроля	Дополнительные затраты на создание и обслуживание стандартных образцов
<u>3. Проведение метрологической экспертизы конструкторской и технологической документации</u>		
Оценка правильности выбора средств и методов измерений	Снижение потерь от погрешности измерений	Затраты на проведение МЭ конструкторской и технологической документации
Определение рациональной номенклатуры контролируемых параметров	Снижение текущих затрат в процессе измерений и технологических потерь на обработку продукции	То же
Анализ обеспеченности контроля средствами и методами измерений	Сокращение срока освоения изделий за счет своевременной разработки или закупки необходимых СИ	То же
Исправление ошибок в конструкторской и технологической документации	Снижение затрат на корректировку документации в производственных условиях	То же

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_T = & \left\{ \left(Z_1 \frac{B_2}{B_1} \cdot \frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H} - Z_2 \right) + \left(\frac{1}{P_2 + E_H} \right) \times \right. \\ & \left. \times \left[\left(I_1 \frac{B_2}{B_1} - I_2 \right) + E_H \left(K_{\mathcal{E}1} \frac{B_2}{B_1} - K_{\mathcal{E}2} \right) \right] \right\} A_2, \quad (12.1) \end{aligned}$$

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты на изготовление (внедрение) единицы базовой и новой техники, руб.;

B_1 и B_2 - годовая эксплуатационная производительность единицы базовой и новой техники (годовой объем продукции, производимой с помощью единицы метрологической работы);

B_2 / B_1 - коэффициент учета изменения годовой эксплуатационной производительности единицы новой техники по сравнению с базовой;

P_1 и P_2 - доля отчислений на полное восстановление (реновацию) от стоимости единицы базовой и новой техники (P_1 и P_2 определяются как обратные физическому сроку службы техники);

E_H - принятый по всем областям хозяйства страны коэффициент экономической эффективности капитальных вложений (для ориентировочных расчетов можно принять $E_H = 0.15$);

$\frac{P_1 + E_H}{P_2 + E_H}$ - коэффициент учета изменения срока эксплуатации единицы новой техники по сравнению с базовой;

I_1 и I_2 - годовые эксплуатационные издержки при использовании единицы базовой и новой техники, руб.;

$K_{\mathcal{E}1}$ и $K_{\mathcal{E}2}$ - общие сопутствующие капитальные вложения потребителя при эксплуатации единицы базовой и новой техники, руб.;

A_2 - годовой объем внедрения новой техники в расчетном году, шт.

Приведенные затраты

$$Z_{1,2} = C_{1,2} + E_H K_{1,2},$$

где $C_{1,2}$ - разница в себестоимостях изготовления базовой и новой техники, руб.;

$K_{1,2}$ - разница в общих капитальных вложениях (единовременные затраты) на единицу базовой и новой техники (удельные капитальные вложения), руб.

При определении K_2 необходимо учитывать во временной динамике затраты на НИР, ОКР, дополнительные основные фонды и оборудование при изготовлении; затраты на испытание и доводку опытного образца, государственные приемочные испытания, транспортировку и монтаж у потребителя.

При определении \mathcal{E}^T в соответствии с выражением (12.1) не учитываются:

- особенности формирования общего эффекта от работ по повышению уровня МО и качества измерительной информации;
- неравномерность эксплуатационных показателей и затрат по годам использования измерительной техники (ИТ), методик выполнения измерений (производительность, объем контроля и измерений увеличивается по годам эксплуатации);
- сокращение экономических потерь и убытков от повышения качества измерений (качества получаемой измерительной информации), являющихся основным фактором экономической эффективности;
- динамику осуществления затрат на разработку и внедрения новых достижений в области метрологии и формирования общего результата за время их использования в пределах морального старения;
- несопоставимость общих приведенных затрат Z_1 и Z_2 ; I_1 и I_2 ; $K_{э1}$ и $K_{э2}$ по основным и важнейшим информационно-измерительным характеристикам (точность, диапазон, чувствительность измерений и т.д.) сравниваемых вариантов МО.

Таким образом, расчеты экономической эффективности МО продукции по формуле (12.1) могут не дать достаточно достоверных и экономически обоснованных результатов. В связи с этим при определении экономической эффективности МО применительно к особенностям формирования общего по всем областям хозяйства страны экономического эффекта от работ по совершенствованию МО необходимо учитывать следующие положения:

- основной фактор развития МО зависит от изменения качества получаемой измерительной информации об исследуемом (измеряемом) физическом объекте, что требует обязательной разработки специальных моделей и критериев эффективности;
- достоверность анализа экономической эффективности любой работы по совершенствованию МО зависит от правильной оценки и учета в общем критерия эффективности изменения потерь и убытков от погрешности измерений;
- для правильной оценки эффективности МО и принятия оптимального решения необходимо учитывать и сопоставлять по вариантам изменения во времени затраты на разработку и

внедрение технических новшеств в области МО, а также срок службы новых СИ и оборудования с учетом морального старения в долгосрочной перспективе.

Поэтому основой для определения $\mathcal{E}_Г$ и $\mathcal{E}_{ПР.Г}$ может быть принят критерий, отражающий формирование общего экономического результата при повышении качества получаемой измерительной информации. Таким критерием является минимум годовых интегральных затрат на использование технических и организационных новшеств в области МО и возникающих при этом экономических потерях и убытков от погрешности измерений (на сопоставимый объем работ)

$$Z_{i}^{HX} = [(I_i + \frac{1}{T_{zi}} K_i) + \Pi_i]; \quad Z_{i}^{HX} \rightarrow \min, \quad (12.2)$$

где: Z_{i}^{HX} - общие годовые интегральные затраты и экономические потери при использовании за один расчет i -го варианта совершенствования МО, руб.;

i - число сравниваемых вариантов совершенствования МО;

I_i - годовые текущие издержки в процессе использования в t -ом году i -го варианта решения метрологической проблемы, руб.;

T_{zi} - срок службы (действия) i -го варианта МО с учетом моральных аспектов, год;

K_i - единовременные затраты (капитальные вложения), необходимые для разработки i -го варианта решения метрологической проблемы (удельные капитальные вложения), руб.;

Π_i - годовые интегральные экономические потери от ошибок I и II рода, возникающие при использовании в t -ом году i -го варианта решения проблемы МО, руб.

Показатели I_i , K_i , Π_i предварительно должны быть приведены к одному моменту времени (к расчетному году) с учетом фактора времени, к объему измерений, используемым нормативам и условиям работ. При равенстве метрологических свойств сравниваемых вариантов критерий (12.2) принимает следующий вид:

$$Z_{i}^{HX} = I_i + E_H K_i.$$

Таким образом, в общем виде годовой интегральный экономический эффект в t -й год использования единицы анализируемого объекта

(мероприятия по МО) представляет собой сумму экономических затрат, полученную в стране, регионе, отрасли:

$$\Delta_t = [(I_{1t} + E_H K_1) \frac{B_{2t}}{B_{1t}} - (I_{2t} + E_H K_2)] + (P_1 - P_2), \quad (12.3)$$

где I_{1t} и I_{2t} - годовые текущие издержки в процессе использования единицы анализируемого объекта в t -й год до и после совершенствования МО;

K_1 и K_2 - общие единовременные затраты на единицу анализируемого объекта до и после совершенствования МО (с учетом динамики и приведения к расчетному году по фактору времени);

B_{1t} и B_{2t} - соответственно годовой объем работ, выполняемый с помощью. Заменяемого и нового мероприятия МО в t -й год;

P_1 и P_2 - суммарные годовые (интегральные) экономические потери при данном уровне МО (у потребителя и изготовителя) до и после совершенствования МО.

Анализ формулы (12.3) показывает, что в целом она универсальна и может быть использована не только для оценки интегрального экономического эффекта, но и для определения экономической эффективности отдельных мероприятий по МО как на самом предприятии, так и у потребителей его продукции.

12.2. Критерии экономической эффективности.

Всякая производственная деятельность обусловлена целесообразностью и полезностью. Ее интегральная оценка выражается экономической эффективностью производства.

Экономическая эффективность - это обобщающий критерий, который характеризует соотношение между достигнутым результатом производства и затратами трудовых, материальных и денежных ресурсов:

$$\text{Экономическая эффективность} = \frac{\text{Результат производства}}{\text{Затраты на производство}}.$$

Логическая модель оценки экономической эффективности

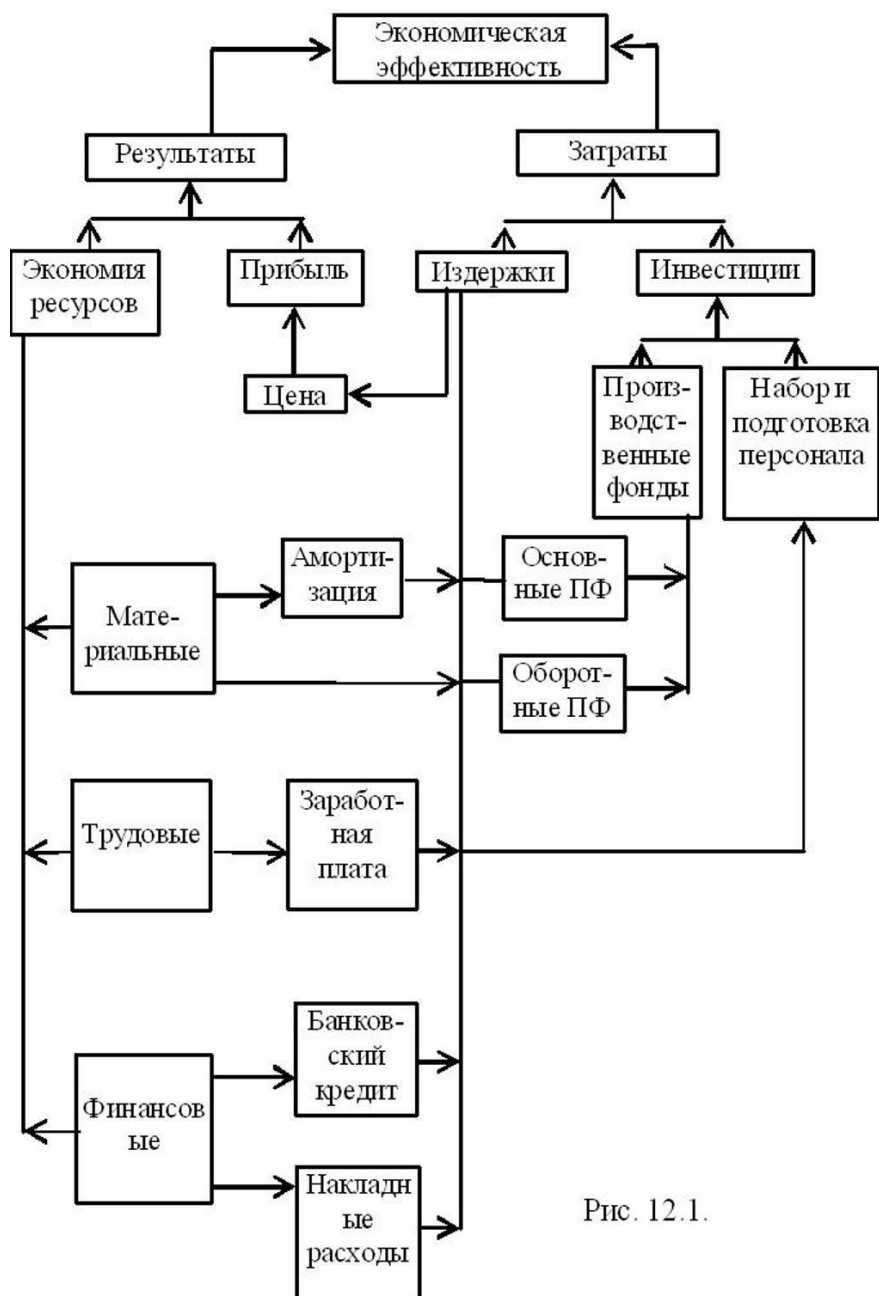


Рис. 12.1.

Экономический эффект состоит в том, чтобы результаты производства росли быстрее, чем затраты на него, чтобы каждый рубль, вложенный в производство (на сырье, материалы, топливо, энергию, оплаты труда и т.д.), давал максимальную отдачу.

Логическая модель оценки экономической эффективности приведена на рис. 12.1.

В зависимости от того, на каком уровне производится оценка экономической эффективности, в качестве результата производства могут выступать: прирост объема национального дохода на макроэкономическом уровне (в масштабе экономики страны); прирост прибыли - на микроэкономическом уровне (предприятие, отрасль).

Как видно из схемы, приведенной на рис. 12.1, экономическая эффективность зависит от достаточно большого числа факторов, в которые входят прибыль, цена, экономия ресурсов и т.д., т.е. от того, на что расходуется общественный продукт. Поэтому, прежде, чем определять экономическую эффективность, необходимо рассмотреть структуру общественного продукта (рис. 12.2). Из общественного продукта возмещаются все потребляемые средства, и образуется национальный доход.

Национальный доход - это часть общественного (совокупного) продукта, равного по величине созданной стоимости (рис. 12.2). Из национального дохода образуются фонды потребления и накопления.

За счет фонда потребления осуществляется удовлетворение материальных и духовных потребностей общества, его доля достигает двух третей национального дохода.

За счет фонда накопления осуществляется рост и совершенствование производства. Фонд накопления составляет около одной трети национального дохода. За счет фонда потребления осуществляется удовлетворение материальных и духовных потребностей общества, его доля достигает двух третей национального дохода.

Прибыль - это чистый доход предприятия, который определяется как разность между ценой продукции C и затратами на ее производство C :

$$П=C-C.$$

Структура общественного продукта.



Рис. 12.2.

Следует различать:

- балансовую (общую) прибыль, которая рассчитывается как алгебраическая сумма прибыли, полученной от реализации основной продукции,
- прибыль (или убытки) от реализации прочей продукции или услуг непромышленного характера (услуги автотранспорта, реализация на сторону энергии, материалов и т.п.).

Из прибыли уплачиваются налоги, ведутся расчеты по кредитам, формируются фонды предприятия, используемые как для воспроизводственных целей, создания финансовых резервов, так и социальные нужды. Для характеристики уровня эффективности производства используется система частных показателей: производительность труда, фондоотдача, материалоемкость, рентабельность.

Фондоотдача показывает, какое количество продукции в денежном выражении выпущено за один год в расчете на один рубль производственных фондов. В целом по всем областям хозяйства фондоотдача определяется следующим образом:

$$\text{Фондоотдача} = \frac{\text{Объем национального дохода}}{\text{Стоимость основных фондов}},$$

а по отрасли (предприятию):

$$\text{Фондоотдача} = \frac{\text{Чистая (валовая, товарная) продукция}}{\text{Среднегодовые стоимости основных производственных фондов}}.$$

Материалоемкость отражает величину совокупных затрат сырья, материалов, топлива, энергии, полуфабрикатов на производство продукции в стоимостном и (или) натуральном выражении.

Рентабельность - показатель доходности предприятия (оно может быть рентабельным или нерентабельным), %. Различают рентабельность: изделия, производства и реализованной (товарной) продукции.

$$P_{II} = \frac{Ц - C_{II}}{C_{II} - C_M} 100\%,$$

где $Ц$ - цена единицы изделия, C_{II} - полная себестоимость единицы продукции, C_M - сумма прямых материальных затрат в себестоимости продукции.

Общая рентабельность производства характеризует доходность производства в целом и представляет собой отношение общей (балансовой) прибыли к сумме среднегодовой стоимости основных производственных фондов и нормируемых оборотных средств

$$P_{IIIP} = \frac{\Pi}{C_{O.II.ф.} + O_H} 100\%,$$

где Π - общая (балансовая) прибыль, $C_{O.II.ф.}$ - среднегодовая стоимость основных производственных фондов (балансовая стоимость), O_H - стоимость нормируемых оборотных средств.

Рентабельность реализованной (товарной) продукции

$$P_T = \frac{P - C_{II}}{C_{II}} 100\%,$$

где P - выручка в оптовых ценах предприятия, C_{II} - полная себестоимость продукции, $(P - C_{II})$ - прибыль от реализации товарной продукции.

12.3. Факторы производства, влияющие на экономическую эффективность.

Уровень экономической эффективности и характер ее изменения обусловлены воздействием ряда факторов, характеризующих механизмы формирования затрат и результатов предприятия. К ним относятся такие экономические категории, как себестоимость и цена предприятия.

Себестоимость продукции С представляет собой выраженную в денежной форме часть общественных издержек производства и включает все затраты предприятия на изготовление и реализацию продукции (табл.12.2).

Таблица 12.2.

Полная себестоимость					
Производственная себестоимость					Внепроизводственные расходы
Цеховая себестоимость				Общезаводские расходы	
Технологическая себестоимость			Цеховые расходы		
Сырье, основные и вспомогательные материалы	Основная заработная плата основных производственных рабочих	Топливо и энергия на технологические цели			

Таким образом, себестоимость *С* определяется расходами предприятия в целом:

$$C = M + Z + Z(k_{ДЗ} + k_{СС}) + H,$$

где *M* - стоимость основных материалов и полуфабрикатов,

Z - основная зарплата на изготовление изделия,

$Z(k_{ДЗ} + k_{СС})$ - сумма дополнительной зарплаты $Z(k_{ДЗ})$ и отчислений на социальное страхование $Z(k_{СС})$,

H - накладные расходы (т.е. расходы на управление, обслуживание и содержание оборудования).

Коэффициенты дополнительной зарплаты и отчислений на социальное страхование составляют:

$k_{ДЗ} = 0,05 \dots 0,1$ (от 5% до 10%),

$k_{СС} = 0,385 \dots 0,42$ (от 38,5% до 42%).

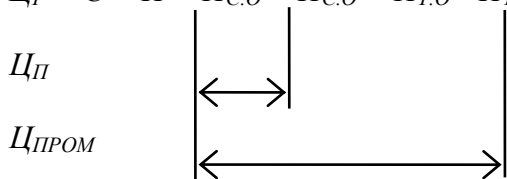
Цена - денежное выражение стоимости продукции. Для промышленной продукции устанавливают оптовые и розничные цены. Причем различают оптовые цены предприятия и промышленности.

Оптовая цена - цена, по которой предприятие-изготовитель реализует свою продукцию.

Розничная цена - цена, по которой товары и услуги приобретают конечные потребители.

Схема ценообразования.

$$C_P = C + П + И_{С.О} + П_{С.О} + И_{Т.О} + П_{Т.О},$$



где C_P - розничная цена,
 C - себестоимость единицы продукции,
 $П$ - прибыль,
 C_P - оптовая цена предприятия,
 $И_{С.О}$ - издержки сбытовых организаций,
 $П_{С.О}$ - прибыль сбытовых организаций
 $C_{ПРОМ}$ - оптовая цена промышленности,
 $И_{Т.О}$ - издержки торговых организаций,
 $П_{Т.О}$ - прибыль торговых организаций.

Фонды и доход предприятия.

Производственные фонды характеризуют собой совокупность материальных факторов производства и включают в себя основные и оборотные производственные фонды.

Основные фонды и оборотные средства используются в процессе производства продукции как средства производства.

К основным производственным фондам относятся средства труда, которые многократно участвуют в производстве продукции и переносят свою стоимость по мере их износа по частям на себестоимость выпускаемой продукции (или услуг) в форме амортизационных отчислений. Это здания, сооружения, машины и оборудование, измерительные приборы и вычислительная техника, инструмент. В зависимости от целей и задач экономических расчетов используется несколько видов оценки основных фондов в стоимостном выражении:

балансовая (первоначальная) стоимость

$$C_B = C_{П.П} + C_{Т.Р} + C_{СМ.Р},$$

где $C_{П.П}$ - стоимость приобретения (покупки, постройки),

$C_{Т.Р}$ - транспортные расходы,

$C_{СМ.Р}$ - строительно-монтажные расходы (фундамент, монтаж, накладка);

остаточная стоимость балансовой стоимости с учетом износа

$$C_{\text{ост}} = C_{\text{б}} - C_{\text{изн}},$$

где $C_{\text{изн}}$ - стоимость износа за период эксплуатации;

ликвидационная стоимость $C_{\text{л}}$ - стоимость основных фондов на момент их списания (выбытия).

С целью компенсации износа основных фондов используется механизм амортизационных отчислений.

Амортизация - это процесс накопления денежных средств для возмещения износа основных фондов. Годовые амортизационные отчисления определяют по формуле

$$A = \frac{(C_{\text{б}} - C_{\text{л}})}{T},$$

где T - срок службы, год.

Показатели использования основных фондов: фондоотдача, рентабельность и фондоемкость.

$$\text{Фондоемкость} = \frac{\text{Стоимость основных фондов}}{\text{Стоимость производственной продукции}}.$$

Для определения эффективности использования активной части основных фондов (т.е. оборудования) применяют следующие показатели:

$$\text{Коэффициент сменности} = \frac{\text{Общее количество машино-смен во всех сменах}}{\text{Количество машино-смен в наибольшей смене}};$$

$$\text{Коэффициент интенсивности загрузки оборудования} = \frac{\text{Фактическое время полезной работы оборудования}}{\text{Плановое время работы оборудования}} .$$

Оборотные производственные фонды - это предметы труда, функционирующие в сфере производства, в виде производственных запасов (сырью, материалы, топливо), незавершенного производства, расходов будущих периодов. Оборотные фонды полностью переносят свою стоимость на себестоимость изготавливаемой продукции.

В совокупности с фондами обращения, к которым относятся готовая продукция на складе или отгруженная, но в пути, денежные средства в расчетах и в кассе предприятия, оборотные (производственные) фонды образуют оборотные средства предприятия. Эффективность использования оборотных средств оценивается количеством их оборотов (воспроизводственных циклов) в году

$$N_{OB} = \frac{Q}{O_{OB.C}},$$

где Q - объем реализованной продукции,
 $O_{OB.C}$ - средний остаток оборотных средств.

Чем быстрее оборачиваемость оборотных средств, тем больший объем продукции может быть произведен при данной их сумме (или они могут быть использованы для других целей).

12.4. Экономическая эффективность внедрения новых средств измерений.

Внедрение измерительной техники (ИТ) и более совершенных методов выполнения измерений (МВИ) является одним из основных и наиболее капиталоемких направлений совершенствования метрологического обеспечения (МО) предприятий. В результате улучшения метрологических и технических характеристик внедряемых средств измерений (СИ) и МВИ может повыситься достоверность и полнота измерительной информации об исследуемом

физическом объекте. Это сокращает ошибки I и II рода и уменьшает возникающие экономические потери.

При определении экономической эффективности внедрения новых СИ на промышленных предприятиях, в НИИ и КБ на практике встречаются две типовые задачи:

требуемые СИ выпускаются приборостроительной промышленностью, его можно приобрести. В этом случае определяется экономическая эффективность приобретения, наладки, проверки, освоения и использования СИ в конкретных условиях;

требуемые СИ выпускаются промышленностью. В этом случае определяется экономическая целесообразность разработки, испытания, метрологической аттестации, изготовления и использования новых СИ в конкретных условиях.

Согласно этим задачам выбирается и соответствующий методический подход к определению экономической эффективности внедрения новых СИ и МВИ.

При расчете экономической эффективности приобретения новых СИ необходимо учитывать временную динамику процесса внедрения ИТ и формирования общего экономического эффекта. Годовой интегральный хозяйственный экономический эффект от использования приобретенного нового СИ в каждом расчетном t -м году в течение периода времени $T_{Э2}$ определяется по формуле (12.4.)

$$\mathcal{E}_T = [(Z_1 k_3 - Z_2) + (P_1 - P_2)] \cdot A_2, \quad (12.4.)$$

где Z_2 и Z_1 - приведенные затраты на годовой объем работы единицы базового и нового СИ в t -й год эксплуатации, руб., которые рекомендуется определять по формулам:

$$Z_1 = I_{Э1} + \frac{K_1}{T_{Э1}};$$

$$Z_2 = I_{Э2} + \frac{K_2}{T_{Э2}},$$

где $I_{Э1}$ - общие текущие издержки в процессе эксплуатации единицы базового СИ в году, предшествующем использованию (эксплуатации нового СИ), руб.;

$I_{Э2}$ - общие текущие затраты в процессе эксплуатации нового СИ в расчетном t -м году периода $T_{Э2}$, руб.;

K_1 и K_2 - общие единовременные затраты на внедрение единицы базового и нового СИ с учетом фактора времени (затраты на анализ состояния измерений и выбор требуемого СИ; на обучение специалистов; подготовку специальных помещений; приобретение, монтаж и освоение необходимого технического необходимого оборудования; на приобретение требуемого СИ и его освоение применительно к конкретным производственным условиям);

A_2 - общее число приобретенных и освоенных новых СИ в расчетном году, в натуральных единицах;

$T_{Э1}$ и $T_{Э2}$ - сроки службы базового и нового СИ с учетом их морального износа (определяется в зависимости от периода морального износа T_{M2} и периода внедрения нового СИ T_K).

$$T_{Э2} = T - T_{K2},$$

где T - расчетный период времени ($T = T_{K2} + T_{Э2}$).

В формуле (12.5.) используется коэффициент эквивалентности $k_Э$, учитывающий изменение качества получаемой измерительной информации от нового СИ по сравнению с базовым. Количественной характеристикой качества измерительной информации можно считать ее достоверность D . Тогда коэффициент $k_Э$ определяется из формулы:

$$k_Э = \frac{D_2}{D_1}, \quad (12.5.)$$

где D_1 и D_2 - достоверность измерительной информации, получаемой с применением базового и нового СИ соответственно.

Показатель D является комплексным и учитывает множество характеристик измерительного процесса: среднееквадратическое отклонение параметра измерения, допуск на измеряемый параметр, погрешность измерения, законы распределения измеряемой величины и погрешность измерения. Поэтому равенство (12.5.) можно считать наиболее объективным.

Величина ($P_1 - P_2$) в выражении (12.4.) - это дополнительный экономический эффект в процессе использования нового СИ по сравнению с базовым в t -й год периода $T_{Э2}$. Данный эффект может возникнуть за счет сокращения экономических потерь в результате повышения достоверности проводимых измерений и качества получаемой измерительной информации. В итоге сокращается вероятность возникновения ошибок I и II рода при использовании нового СИ по сравнению с базовым.

Экономические потери от ошибок I и II рода при использовании базового и нового СИ определяется в зависимости от многих факторов и условий. Здесь рассматривается типовой случай использования сравниваемых вариантов СИ - измерение и контроль основных параметров качества готовых изделий (вид контроля - сплошной, одноступенчатый, неразрушающий). При использовании СИ на других операциях и при других видах контроля предполагаемые формулы корректируются соответствующими коэффициентами и условиями.

Экономические потери P_{III1} и P_{III2} вычисляются по формулам:

а) в случае исправимого брака после забраковки изделия

$$P_{III,2} = B_2 P_{II,2} (Z_{ис} + Z_{II,2}), \quad (12.6.)$$

где B_2 - годовой объем выпускаемых и контролируемых изделий после внедрения нового СИ в t -м году эксплуатации;

$P_{II,2}$ - вероятность возникновения ошибок I рода при использовании базового и нового СИ в t -м году эксплуатации;

$Z_{ис}$ - средние затраты на исправление единицы ложно забракованного изделия, контролируемого базовым и новым СИ;

$Z_{II,2}$ - средние затраты на проведение одного измерения при контроле качества изделий базовым и новым СИ:

$$Z_{I1} = \frac{Z_1}{N_1};$$

$$Z_{I2} = \frac{Z_2}{N_2};$$

(12.7)

б) в случае неисправимого брака после забраковки изделия

$$\Pi_{II,2} = V_2 P_{II,2} (C_{ED} - C_{OCT} + Z_{II,2}), \quad (12.8)$$

где C_{ED} - себестоимость единицы изделия до контроля основных параметров качества бракованных изделий;

C_{OCT} - остаточная стоимость забракованного изделия.

Экономические потери Π_{III1} и Π_{III2} завода-изготовителя от ошибок II рода, обнаруженные потребителем в течении гарантийного срока, определяются по формуле

$$\Pi_{III,2} = V_2 P_{III,2} \alpha_{1,2} Z_{ГР}, \quad (12.9)$$

где $P_{III,2}$ - вероятность возникновения ошибок II рода при использовании базового и нового СИ;

$\alpha_{1,2}$ - доля изделий, отказавших в процессе эксплуатации у потребителя из-за скрытого брака (ошибок II рода) в течении гарантийного срока до и после внедрения нового СИ;

$Z_{ГР}$ - средние затраты завода-изготовителя на проведение гарантийного ремонта в расчете на одно изделие и с учетом транспортных расходов и штрафа.

На основании показателей Π_{II} и Π_{III} по сравниваемым вариантам определяются общие экономические потери завода-изготовителя от погрешности измерений $\Pi_{II,2}$.

Экономические потери потребителя от ошибок II рода по сравниваемым вариантам определяются по формуле

$$\Pi_{II} = V_2 [P_{II,2} \alpha_{1,2} Z_{II} + P_{III,2} (Z_{II} + 2Z_{II,2} + Z_{ИС})], \quad (12.10)$$

где Z_{II} - средние экономические потери у потребителя из-за нарушения технологических процессов, простоев оборудования за счет отказов в результате скрытого брака (в расчете на одно изделие); определяется по статистическим и бухгалтерским данным об экономическом ущербе с учетом транспортных и командировочных расходов.

Первое слагаемое в квадратных скобках выражения (12.10) характеризует экономические потери из-за отказа единицы продукции

в течение гарантийного срока, а второе - экономические потери потребителя после гарантийного срока.

12.5. Экономическая эффективность организации калибровочных работ и обслуживания средств измерений.

Одним из направлений совершенствования МО производства является развитие калибровки СИ. В ряде случаев эталонное оборудование, производственные площади, труд ведомственных поверителей используется нерационально. Одной из причин этого положения является низкий коэффициент использования эталонного оборудования. Организация калибровки и обслуживания СИ требует значительных капитальных вложений.

Показателями экономической эффективности калибровочных работ являются:

- годовой экономический эффект (дополнительная прибыль предприятия) $\mathcal{E}_{КР}$;
- коэффициент экономической эффективности дополнительных капитальных вложений $\Delta K_{КР}$, связанных с организацией или совершенствованием калибровочных работ на предприятии $E_{КР}$,

$$E_{КР} = \frac{\mathcal{E}_{КР}}{\Delta K_{КР}} .$$

Организация или совершенствование калибровочных работ экономически эффективна при условии $E_{КР} \geq E_H$;

E_H - нормативный народнохозяйственный коэффициент экономической эффективности капитальных вложений ($E_H=0,15$).

Если в отрасли утверждены отраслевые коэффициенты, то при расчетах следует использовать их значения.

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{КР}$ определяется путем расчета и сравнения технико-экономических показателей заменяемого и внедряемого варианта с учетом изменения их качества и объемов.

Годовой экономический эффект калибровки СИ $\mathcal{E}_{КР}$ определяется как

сумма годовых эффектов по отдельным факторам повышения эффективности МО \mathcal{E}_i

$$\mathcal{E}_{\text{КР}} = \sum_{i=1}^n \mathcal{E}_i.$$

Основными факторами формирования годового экономического эффекта $\mathcal{E}_{\text{КР}}$ являются следующие:

- изменение (увеличение или уменьшение) приведенных затрат на выполнение калибровочных работ $\mathcal{E}_{\text{КРЗ}}$;
- повышение качества калибровочных работ $\mathcal{E}_{\text{КРК}}$;

Улучшение использования парка РСИ $\mathcal{E}_{\text{КРП}}$.

Организация или совершенствование калибровки СИ в большинстве случаев приводит к уменьшению текущих затрат Z и увеличению капитальных вложений K . Как правило, общая сумма приведенных затрат на калибровку значительно меньше, чем на поверку в органах Госстандарта.

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{КРЗ}}$ определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{КРЗ}} = (Z_{\text{К1}} + E_{\text{H}}K_{\text{К1}}) \frac{N_2}{N_1} - (Z_{\text{К2}} + E_{\text{H}}K_{\text{К2}}), \quad (12.11)$$

где $Z_{\text{К1,2}}$ - годовые текущие затраты на калибровочные работы, тыс. руб.;

$K_{\text{К1,2}}$ - среднегодовая стоимость основных производственных фондов калибровочных подразделений МС, тыс. руб.;

$N_{1,2}$ - количество калибровочных работ, выполняемых в течении года.

В состав текущих затрат $Z_{\text{К}}$ входят: заработная плата (основная и дополнительная), отчисления на соцстрах, амортизационные отчисления, накладные расходы, годовые затраты на поверку (аттестацию) и текущий ремонт эталонного оборудования, затраты на материалы и электроэнергию.

Если до организации калибровки СИ поверялись в органах Госстандарта, формула (12.11) принимает вид

$$\mathcal{E}_{\text{КРЗ}} = (Z_{\text{ГП}} \frac{N_{\text{К}}}{N_{\text{ГП}}} - Z_{\text{К}}) - E_{\text{H}}\Delta K_{\text{К}},$$

где N_K и $N_{ГП}$ - соответственно годовые объемы калибровки СИ на предприятиях и поверки в органах Госстандарта;

$Z_{ГП}$ - годовые затраты предприятия на поверку СИ в органах Госстандарта;

ΔK_K - дополнительные капитальные вложения на организацию калибровочных работ.

$$Z_{ГП} = (Z_{ГС} + Z_{ТР} + Z_{КОМ})N_{ГП} + (Z_P + Z_{ГС} + Z_{ТР} + Z_{КОМ})\frac{H_{БР}}{100},$$

где $Z_{ГС}$ - такса госсборов за 1 поверку;

$Z_{ТР}$ - средние затраты на транспортировку в ЦСМ и обратно СИ;

$Z_{КОМ}$ - средние командировочные расходы, связанные с выполнением одной поверки;

Z_P - средние затраты на ремонт СИ;

$H_{БР}$ - средний процент бракованных РСИ по метрологическим характеристикам после транспортировок из ЦСМ.

В состав ΔK_K входит стоимость эталонного, транспортного, складского оборудования, производственных площадей, затрат на обучение поверителей, разработку СТП и др.

В случае, на предприятии организуется калибровка СИ, которые ранее вообще не поверялись, экономический эффект $\Delta K_{КЗ}$ будет иметь отрицательное значение и примет форму дополнительных приведенных затрат.

Повышение качества калибровочных работ достигается за счет использования более точных рабочих эталонов, прогрессивных методов калибровки, повышения квалификации поверителей, улучшение условий транспортировки СИ, их полного охвата калибровкой и др. В ряде случаев улучшение метрологических характеристик парка СИ достигается за счет сокращения межповерочных интервалов. В результате повышения качества калибровки достигаются следующие виды экономического эффекта:

- экономический эффект за счет повышения метрологической надежности СИ и сокращения количества применяемых СИ с нарушенными метрологическими характеристиками $\Delta K_{КН}$;
- экономический эффект за счет уменьшения потерь в результате калибровки СИ $\Delta K_{КП}$.

$$\mathcal{E}_{\text{КРК}} = \mathcal{E}_{\text{КРКН}} + \mathcal{E}_{\text{КРКП}}.$$

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{КРКН}}$ определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{КРКН}} = (Z_{\text{К}} + E_{\text{Н}}K_{\text{К}}) \frac{t_{\text{МП2}} - t_{\text{МП1}}}{t_{\text{МП1}}} + \sum_{i=1}^n [\Pi_{\text{I}}(P_{\text{I1}} - P_{\text{I2}}) + \Pi_{\text{II}}(P_{\text{II1}} - P_{\text{II2}})] A_2 N_{\text{СИ2}},$$

(1 и 2 - относятся соответственно к базовому и новому вариантам);
где n - количество типовых областей применения СИ;

$t_{\text{МП1,2}}$ - средний межповерочный интервал при установленной (неизменной) вероятности нахождения метрологических характеристик СИ в заданных интервалах;

Π_{I} - средняя величина экономических потерь в расчете на единицу контролируемой продукции (час работы) за счет ошибки I рода - риск изготовления или ложная браковка годной продукции в i -й области применения СИ. Величина Π_{I} может иметь форму затрат на поверочный контроль, стоимость ложно забракованной продукции, снижение ее цены и т.д.;

$P_{\text{II,2}}$ - вероятность возникновения ошибки I рода;

Π_{II} - средняя величина экономических потерь в расчете на единицу контролируемой продукции (час работы) за счет ошибки II рода в i -й области применения СИ - риск потребителя или пропуск бракованной продукции. Величина Π_{II} может иметь форму штрафов и рекламаций, санкций Госстандарта за поставку продукции с отступлением от ГОСТов, затрат на гарантийный ремонт и др.;

$P_{\text{III,2}}$ - вероятность возникновения ошибки II рода;

A_2 - годовое количество контролируемой продукции одним СИ в i -й области применения (или годовой ресурс работы в часах);

$N_{\text{СИ2}}$ - количество СИ, применяемых в i -й области.

Повышение точности выполнения калибровочных работ дает возможность сократить потери, связанные с ложной браковкой СИ, у которых метрологические характеристики находятся в пределах допускаемого значения, и пропуском в производство СИ с нарушенными метрологическими характеристиками. Годовой экономический эффект за счет этого фактора $\mathcal{E}_{\text{КРКП}}$ определяется

$$\begin{aligned} \mathcal{E}_{\text{КРП}} = & [(Z_{\text{К}} + E_{\text{Н}}K_{\text{К}}) + (Z_{\text{Р}} + E_{\text{Н}}K_{\text{Р}})]N_{\text{СИ}2} + \\ & + [\Pi_{\text{I}}(P_{\text{I}1} - P_{\text{I}2}) + \Pi_{\text{II}}(P_{\text{II}1} - P_{\text{II}2})]N_{\text{СИ}2}, \end{aligned}$$

где $Z_{\text{К}}$ - средние текущие затраты на одну калибровку;

$K_{\text{К}}$ - средние удельные капитальные вложения на одну калибровку;

$K_{\text{Р}}$ - средние удельные капитальные вложения на выполнение одного текущего ремонта СИ;

$P_{\text{II},2}$ - вероятность ложной браковки годных СИ в процессе калибровки;

$P_{\text{III},2}$ - вероятность пропуска в производство после калибровки СИ с нарушенными метрологическими характеристиками;

$\Pi_{\text{I,II}}$ - средняя величина экономических потерь в расчете на одно СИ с нарушенными метрологическими характеристиками. Величина $\Pi_{\text{I,II}}$ рассчитывается по формуле (12.6) - (12.11).

Экономический эффект за счет улучшения использования парка РСИ $\mathcal{E}_{\text{КРП}}$ формируется в результате сокращения времени нахождения приборов в процессе калибровки и вовлечения в использование в производство СИ, которые ранее не применялись из-за отсутствия возможности их калибровки.

Опыт показывает, что при организации калибровочных работ время нахождения СИ на этой операции сокращается в 8-10 раз. В результате этого достигается сокращение размера резервного фонда СИ, который предназначен для компенсации потребностей производства на время нахождения СИ в процессе калибровки.

Годовой экономический эффект $\mathcal{E}_{\text{КРП}}$ определяется по формуле

$$\mathcal{E}_{\text{КРП}} = B_{\text{СИ}}(E_{\text{Н}} + P)[(N_{\text{РЕЗ1}} - N_{\text{РЕЗ2}}) + (N_{\text{НИ1}} - N_{\text{НИ2}})],$$

где $B_{\text{СИ}}$ - средняя балансовая стоимость или цена СИ;

P - коэффициент реновации;

$N_{\text{РЕЗ1,2}}$ - средняя величина резервного парка СИ, которое не используется из-за технической или организационной невозможности их регулярной калибровки.

Коэффициент реновации, т.е. доля отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) (прил.1), определяется по формуле

$$P = \frac{E_H}{(1 + E_H)^{T_c} - 1},$$

где T_c - срок службы новой техники. Если СИ не входит в состав основных производственных фондов, то $P=0$.

Среднегодовая величина резервного парка СИ по поверочным работам

$$N_{\text{РЕЗ}} = \left(\frac{t_{II} N_{II}}{365} \right) \left(1 + \frac{H_3}{100} \right),$$

где t_{II} - среднее количество дней нахождения СИ в поверке (от момента демонтажа с рабочего места до момента начала его использования после поверке);

N_{II} - среднее количество СИ, которое находится в поверке;

H_3 - средняя норма страхового запаса СИ, $H_3=15...25\%$.

В конкретных условиях МО на предприятиях могут иметь место и другие виды экономического эффекта, которые необходимо учитывать при разработке методик и СТП, регламентирующих вопросы определения экономической эффективности калибровки СИ. Важно, чтобы эти методики базировались на перспективные возможности оценки всей совокупности резервов повышения эффективности МО за счет развития калибровки СИ.

12.6. Экономический эффект от внедрения новых методов измерения.

Этот эффект формируется за счет снижения себестоимости измерений (совершенствование процесса измерений, обработки результатов и др.) и уменьшения потерь от погрешности измерений при контроле

$$\mathcal{E} = (Z_1 \frac{B_{II2}}{B_{II1}} - Z_2) = [(C_{II1} + \Pi_1) \frac{B_{II2}}{B_{II1}} - (C_{II2} - \Pi_2)] - E_H \Delta K, \quad (12.12)$$

где Z_1 и Z_2 - приведенные затраты в расчете на годовой объем измерений базовым и новым методами соответственно, руб./год;

$B_{И1}$ и $B_{И2}$ - годовые объемы производимых измерений, изм./год;
 ΔK - дополнительные капитальные вложения, связанные с разработкой и внедрением нового метода, руб.;
 $C_{И1}$ и $C_{И2}$ - себестоимость годового объема измерений по базовому и новому методам соответственно, руб.;
 P_1 и P_2 - годовые потери от погрешностей измерений базового и нового методов, руб./год.

$$\Delta K = (K_2 + K'_2) - K_{Л1},$$

где K_2 - затраты на приобретение СИ;
 K'_2 - затраты на транспортировку, монтаж СИ и т.д.;
 $K_{Л1}$ - остаточная стоимость заменяемого СИ.
 Себестоимость годового объема измерений по базовому и новому методам

$$C_{И1,2} = C_{ПОВ} + C_P + C_{ЗП} + C_Э + C_A,$$

где $C_{ПОВ}$, C_P , $C_{ЗП}$ - годовые затраты на поверку, ремонт СИ и заработную плату операторов соответственно, руб.;
 $C_Э$ - годовая стоимость электропитания, руб.;
 C_A - годовые амортизационные отчисления.
 В свою очередь

$$C_{ПОВ} = C'_{ПОВ} n_{ПОВ}; \quad C_P = C'_P n_P,$$

где $C_{ПОВ}$ и C_P - затраты на одну поверку и один ремонт СИ;
 $n_{ПОВ}$ и n_P - количество поверок и ремонт одного СИ в год.
 При проведении поверок и ремонтов силами самого предприятия

$$C'_{ПОВ} = k_C \sum_{j=1}^d t_{Пj} b_{ЧПj};$$

$$C'_P = k_C \sum_{j=1}^l t_{Pj} b_{ЧPj} + Ц_{ЭЛ},$$

где $t_{Пj}$ и t_{Pj} - соответственно время на одну поверку и один ремонт СИ, затрачиваемое j -м поверителем, ч;
 $b_{ЧП}$ и $b_{ЧP}$ - часовая тарифная ставка поверителя и ремонтника, руб./ч;

d, l - количество поверителей и ремонтников;

$Ц_{ЭЛ}$ - стоимость заменяемых элементов, руб.;

k_C - коэффициент, учитывающий отчисления на социальное страхование и дополнительную зарплату.

Годовые затраты на заработную плату операторов

$$C_{ЗП} = B_{И} k_C t_N b_{ЧИ},$$

где t_N - норма времени на одно измерение одного изделия, ч;

$b_{ЧИ}$ - часовая тарифная ставка исполнителя, руб./ч.

Годовые амортизационные отчисления

$$C_A = \Delta K P,$$

где P - коэффициент реновации.

Годовой объем производимых измерений

$$B_{И} = \frac{\Phi_D}{t_N},$$

где Φ_D - действительный фонд времени использования СИ, ч/год.

$$\Phi_D = \Phi_G - T_{ПОВ} - T_P;$$

$$\Phi_G = T_{СМ} N_{СМ} \cdot 265;$$

$$T_{ПОВ} = t_{ПОВ} n_{ПОВ};$$

$$T_P = t_P n_P,$$

где Φ_G - плановый фонд рабочего времени, ч/год;

$T_{СМ}$ - загрузки СИ в смену, ч;

$N_{СМ}$ - количество смен в рабочем дне;

$T_{ПОВ}$ и T_P - соответственно потери времени на поверку и ремонт, ч;

$t_{ПОВ}$ и t_P - соответственно среднее время пребывания СИ в поверке и ремонте, ч;

$n_{ПОВ}$ и n_P - соответственно количество поверок и ремонтов одного СИ в год.

12.7. Методика анализа экономической эффективности деятельности метрологических служб в условиях рыночной экономики.

В условиях рыночной экономики метрологической службой предприятий решаются следующие задачи хозяйственной деятельности метрологической службы:

- прогнозирование приоритетных направлений деятельности метрологической службы;
- обоснованное установление тарифов и договорных цен за метрологические услуги (далее - услуги) с учетом их качества и эффективности у потребителя, полученной за счет обеспечения необходимой точности и единства измерений в производстве;
- обоснование экономической целесообразности затрат на внедрение технических новшеств в области МО производства;
- совершенствование системы экономического стимулирования работников МС за достижение высоких экономических показателей;
- оценка экономической эффективности деятельности МС в новых условиях хозяйствования;
- выбор экономически оптимальных форм и методов деятельности МС на основе хозяйственных отношений;
- установление экономической целесообразности перехода МС на новые методы хозяйствования;
- совершенствование перспективного и текущего планирования комплексных программ повышения уровня измерений и развития МО производства.

При любой форме хозяйствования у МС остается главная функция ее деятельности: обеспечение требуемой точности и единства измерений на всех этапах жизненного цикла изделия.

В условиях рыночной экономики основным критерием эффективности деятельности МС является полученная чистая прибыль P_p за анализируемый период T .

В t -й год периода T она определяется $P_{p_t} = P_t - Z_t$, за полный срок T

$$P_{pT} = \sum_{t=1}^{t_k} (P_t - Z_t) \alpha_t \text{ или } P_{pT} = P_T - Z_T,$$

где t_H , t_K - начальный и конечный годы деятельности МС за анализируемый период соответственно;

$P_T(P_t)$ - общая сумма источников развития МС за период T (в год t);

$Z_T(Z_t)$ - общая сумма затрат МС за период T (в год t);

α_t - коэффициент приведения по фактору времени.

Значение показателя P_t рассчитывается по формуле

$$P_T = \sum_{t_H}^{t_K} P_t \alpha_t = \sum_{t_H}^{t_K} (B_{Pt} + L_t + C_{Bzt} + C_{ЦБt} + \\ + C_{ЭСt} + C_{КРt} + C_{ДРt} + A_t + D_{ВНt} + C_{УчРt}) \alpha_t,$$

где B_{Pt} - годовая выручка от реализации МС предприятия произведенной продукции (работ, услуг), руб./год;

L_t - выручка от реализации (ликвидации) неиспользованного, ненужного оборудования (по остаточной или ликвидационной стоимости), руб./год;

C_{Bzt} - паевые или иные взносы членов арендного коллектива, других организаций и предприятий (спонсоров), руб./год;

$C_{ЦБt}$ - денежные средства от распродажи ценных бумаг (акций облигаций и др.), руб./год;

$C_{ЭСt}$ - доходы в виде денежных средств, полученных в виде возмещения ущерба, и экономические санкции, штрафы от других организаций (подразделений) за нарушения взаимных обязательств (например, для МС - нарушение графиков поставки СИ на поверку, ремонт и др.), руб./год;

$C_{КРt}$ - денежные кредиты банков и полученный процент от сумм, данных в кредит другим организациям (за пользование временно свободными финансовыми средствами МС в условиях хозрасчетной модели, например, фонды риска, накопившиеся амортизационные отчисления (или их конкретная часть), если по договору МС оставляет их на своем расчетном счете), руб./год;

$C_{ДРt}$ - другие денежные средства, полученные в виде субсидий, дотаций, пожертвований и других источников, руб./год;

A_t - величина амортизационных отчислений на полное восстановление основных фондов и средств ремонтного фонда, оставленная по условиям договора, руб./год;

$D_{ВНt}$ - доход от внереализационных операций (от ценных бумаг, долевого участия в совместных предприятиях, от сдачи в аренду основных фондов и др.), руб./час;

$C_{учрt}$ - средства (фонд) учредителя при условии возмещения их за конкретный (оговоренный) срок, руб./год.

Годовая выручка от реализации МС производственной продукции (работ, услуг) V_{Pt} зависит:

- от спроса на услуги, работы конкретной МС (рыночных отношений (РО));
- предлагаемой номенклатуры (ассортимента) услуг i ;
- договорной цены за i -ю метрологическую работу C_{di} ;
- качества работы Q_i ;
- объема произведенной и реализованной продукции (услуг) по каждому i -му виду A_i ;
- гарантированного экономического эффекта у потребителя \mathcal{E}_{ni} .

Таким образом

$$V_{Pt} = f(PO; i; A_i; C_{di}; Q_i; \mathcal{E}_{ni}).$$

Общая выручка от реализации продукции (услуг) за T составит

$$V_{PT} = \sum_{t_H}^{t_K} V_{Pt} \alpha_t,$$

где t_H, t_K - начальный и конечные годы расчетного периода T .

Тогда $V_{Pt} = \sum_{i=1}^n C_{di} A_{it},$

где n - количество видов МР, выполняемых МС.

Необходимо подчеркнуть, что в условиях рыночной экономики основным источником развития МС является V_{PT} .

Общая сумма затрат МС за период T определяется как

$$Z_T = \sum_{t_H}^{t_K} (A_t + C_{Mt} + O_{Ct} + C_{ВЫКt} + H_{Пt} + \Phi_{Pt} + C_{ЗПt} + \\ + K_t + C_{OФt} + P_{Ht} + Z_{y.Pt} + AП_t + Z_{учрt} + P_{ДРt} + C_{ВЫПt}) \alpha_t,$$

где C_{Mt} - стоимость материальных затрат, комплектующих изделий и энергоресурсов, руб./год;

O_{Cct} - отчисления на социальное страхование в соответствии с действующим законодательством, руб./год;

$C_{ВЫКt}$ - специальные суммы отчислений трудового коллектива для выкупа основных фондов, руб./год;

$H_{Пt}$ - общая сумма налога на прибыль и другие обязательные платежи в соответствии с действующим законодательством, руб./год;

Φ_{Pt} - финансовый резерв (фонд риска), который устанавливается самостоятельно арендным коллективом в зависимости от конкретных условий, руб./год;

$C_{ЗПt}$ - средства на заработную плату со всеми начислениями на нее (на дополнительную зарплату, премии и социальное страхование), руб./год;

K_t - среднегодовой размер капитальных вложений арендатора на реконструкцию, модернизацию производства и социальную сферу, руб./год;

C_{Of_t} - стоимость основных фондов, вновь и самостоятельно приобретенных в t -й год периода самим арендным коллективом для обновления основных фондов и развития производства, руб./год;

$P_{Нt}$ - не планируемые (непроизводственные) расходы (например, начисления на МС арендатора экономических санкций и штрафы за нарушение договорных обязательств), руб./год;

$Z_{у.Pt}$ - затраты на обучение и повышение квалификации, профориентацию, на популяризацию и рекламирование услуг, руб./год;

$АП_t$ - арендная плата в виде фиксированных платежей по каждому t -му году периода T , руб./год;

$Z_{уч.Pt}$ - затраты из прибыли на возмещение средств учредителя, руб./год;

$P_{Др_t}$ - другие расходы (например, платежи по обязательному страхованию имущества, вознаграждения за изобретательство и рационализацию), руб./год;

$C_{ВЫПt}$ - денежные суммы на выплату членам трудового коллектива за паевые или иные взносы, руб./год.

Арендная плата $АП$ может перечисляться арендодателю или оставаться на расчетном счете МС арендатора. При этом важно оценить минимальные значения арендной платы.

В первом случае

$$AP_{\min} = \frac{P_T(1+\Delta_a)}{C_{O\Phi}} + C_{OCT} + A$$

или

$$AP_{\min} = P \cdot C_{O\Phi}(1+\Delta_a) + C_{OCT} + A,$$

где P_T - прибыль за год, руб.;

Δ_a - среднегодовой темп прироста прибыли (обычно за предыдущие пять лет);

$C_{O\Phi}$ - стоимость основных фондов;

C_{OCT} - остаточная стоимость основных фондов;

A - амортизационные отчисления;

P - рентабельность.

Во втором случае

$$AP_{\min} = \frac{P_T(1+\Delta_a)}{C_{O\Phi}} + C_{OCT}$$

или

$$AP_{\min} = P \cdot C_{O\Phi}(1+\Delta_a) + C_{OCT}$$

С другой стороны,

$$\frac{P_T - (З_T + AP + H_{\Pi})}{З_T + AP + H_{\Pi}} = E_H, \quad (12.13)$$

где H_{Π} - налог на прибыль.

Решая уравнение (12.13) относительно AP, получим

$$AP_{\max} = \frac{P_T}{(1+E_H)} - (З_T + H_{\Pi}).$$

Тогда фактическое значение $AP_{\min} < AP_{\Phi} < AP_{\max}$.

Расчетная экономическая эффективность деятельности МС за период T определяется по формуле

$$E_P = \frac{P_T - 3T}{3T} \quad \text{или} \quad E_P = \frac{P_T}{3T} - 1$$

и сравнивается с нормативным коэффициентом E_H ($E_P \geq E_H$), установившимся в отрасли.

Приложение 1

Коэффициенты α_t приведения по фактору времени

t	α_t	$1/\alpha_t$	t	α_t	$1/\alpha_t$
1	1,1000	0,9091	11	2,8531	0,3505
2	1,2100	0,8264	12	3,1384	0,3186
3	1,3310	0,7513	13	3,4522	0,2897
4	1,4641	0,6830	14	3,7975	0,2633
5	1,6105	0,6209	15	4,1772	0,2394
6	1,7716	0,5645	20	6,7274	0,1486
7	1,9487	0,5132	25	10,8346	0,0923
8	2,1436	0,4665	30	17,4492	0,0573
9	2,3579	0,4241	40	45,2587	0,0221
10	2,5937	0,3855	50	117,3895	0,0085

Коэффициенты реновации Р новой техники (T_c - срок службы новой техники)

T_c	Р	T_c	Р	T_c	Р	T_c	Р
1	1,0000	6	0,1296	11	0,0540	20	0,0175
2	0,4765	7	0,1054	12	0,0468	25	0,0102
3	0,3021	8	0,0874	13	0,0408	30	0,0061
4	0,2155	9	0,0736	14	0,0357	40	0,00226
5	0,1638	10	0,0627	15	0,0315	50	0,00086

Список литературы

1. **Шабалин С.А.** Прикладная метрология в вопросах и ответах. М. Издательство стандартов, 1986.
2. **ГОСТ 16263-70** ГСИ. «Метрология. Термины и определения». М.: Издательство стандартов, 1970.
3. **ГОСТ 1.25-**
4. **ГОСТ 8.417-81.** ГСИ. «Единицы физических величин». М.: Издательство стандартов, 1981.
5. **Под редакцией Торбеева Ю.В.** «Основные термины в области метрологии. Словарь-справочник. М.: Издательство стандартов, 1989.
6. **Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: Высшая школа, 1998.
7. **Вентцель В.С.** Теория вероятностей. М.: Наука, 1969.
8. **ГОСТ 8.207-76.** ГСИ. «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений. Основные положения». М.: Издательство стандартов, 1976.
9. **ГОСТ 8.009-84.** ГСИ. «Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений» М.: Издательство стандартов, 1984.
10. **Закон РФ «Об обеспечении единства измерений».** Сборник «Государственные стандарты. Ежемесячный информационный указатель №№11 и 12. М.: Издательство стандартов, 1993.
11. **Основополагающие стандарты в области метрологии.** М.: Издательство стандартов, 1986.
12. **Тюрин Н.И.** Введение в метрологию. М.: Издательство стандартов, 1985.
13. **Бурдун Г.Д., Марков Б.Н.** Основы метрологии. М.: Издательство стандартов, 1972.
14. **Артемьев Б.Г., Голубев С.М.** Справочное пособие для работников метрологических служб. Книги 1 и 2. М.: Издательство стандартов, 1986.
15. **Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. Нормативно-технические документы.** М.: Издательство стандартов, 1988.
16. **ГОСТ Р 8.563-96** ГСИ. Методики выполнения измерений, М. Издательство стандартов, 1996.

17. **Полишко С.П., Трубенюк А.Д.** Точность средств измерения. Киев: Высшая школа, 1987.
18. **Под редакцией Рабиновича О.Г.** Методы обработки результатов наблюдений при измерениях. Выпуск 242. М.: Издательство стандартов, 1979.
19. **Пр. 50.2.002-94 ГСИ.** Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпучком, состоянием и применением средств измерений, аттестованными методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм. М. Издательство стандартов, 1994.
20. **Пр. 50.2.013-94 ГСИ.** Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц. М. Издательство стандартов, 1994.