

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ
КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество
«Алматинский университет энергетики и связи»

С.Г. Хан

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

Учебное пособие

Алматы
АУЭС
2018

УДК 621.317.3(075.8)
X19

Рецензенты:

доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизация и
управления» КазНТУ им. К.И.Сатпаева

Б.А.Сулейменов,

доктор технических наук, профессор,
УО «Алматы менеджмент университет»

С.К.Искакова,

кандидат технических наук, доцент АУЭС, заведующий кафедрой
«Электроники и робототехники» АУЭС

А.М.Ауэзова

Рекомендовано к печати Научно-методическим Советом Алматинского
университета энергетики и связи (07.12.18, протокол № 2). Печатается
по сводному плану издания ведомственной литературы АУЭС на 2018 г.

Хан С.Г.

X19 Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством:
Учебное пособие (для студентов специальности «Автоматизация и
управление»)/С.Г. Хан – Алматы: АУЭС, 2018 – 118 с.: табл. - 6, илл. -
25, список лит-ры – 18.

ISBN 978–601–7939-13-7

В учебном пособии излагаются основные понятия метрологии, основы
теории погрешностей, методы практической обработки результатов
измерений, основы стандартизации, сертификации (технического
регулирования) и управления качеством. Приводятся сведения о меж-
дународной системе единиц СИ, видах и методах измерений, международных
организациях по метрологии и стандартизации, методах расчетов показателей
качества и аттестации экспертных комиссий.

Учебное пособие предназначено для студентов специальности 5В070200
- Автоматизация и управление.

УДК621.317.3(075.8)

ISBN 978-601-7939-13-7

©АУЭС, 2018
Хан С.Г., 2018

Содержание

Введение.....	5
1 Основы метрологии.....	8
1.1 Метрология – научная основа Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ).....	8
1.2 Физическая величина.....	13
1.3 Системы единиц физических величин.....	15
1.4 Международная система единиц СИ.....	17
1.5 Измерение.....	21
1.6 Контрольные вопросы.....	28
2 Погрешности измерений.....	29
2.1 Классификация погрешностей измерений.....	29
2.2 Случайные погрешности. Вероятностное описание результатов и погрешностей измерений.....	31
2.3 Основные характеристики законов распределения.....	34
2.4 Оценки основных характеристик ряда наблюдений.....	36
2.5 Вероятностные оценки погрешности результата измерений.....	36
2.6 Оценка погрешности (точности) результата наблюдения.....	40
2.7 Оценка погрешности (точности) результата измерения.....	40
2.8 Систематические погрешности. Обнаружение и исключение.....	41
2.9 Методы компенсации систематической погрешности.....	44
2.10 Контрольные вопросы.....	48
3 Обработка результатов измерений.....	49
3.1 Статистическая обработка прямых измерений с многократными наблюдениями	49
3.2 Прямые однократные измерения	55
3.3 Оценка точности косвенных измерений.....	59
3.4 Правила округления результатов измерений.....	63
3.5 Контрольные вопросы.....	65
4 Основные сведения о средствах измерений.....	66
4.1 Классификация средств измерений	66
4.2 Метрологические характеристики средств измерений.....	70
4.3 Классификация погрешностей СИ.....	75
4.4 Определение суммарной погрешности измерительного канала.....	80
4.5 Контрольные вопросы.....	82
5 Стандартизация и подтверждение соответствия.....	84
5.1 Основы стандартизации.....	84
5.2 Нормативные документы по стандартизации и виды стандартов.....	86
5.3 Международная стандартизация.....	88
5.4 Стандартизации в Республике Казахстан. Закон «О техническом регулировании».....	93
5.5 Оценка и подтверждение соответствия (сертификация).....	95
5.6 Контрольные вопросы.....	100

6 Управление качеством (основы квалиметрии).....	102
6.1 Понятие и механизм управления качеством.....	102
6.2 Измерение и оценивание качества.....	104
6.3 Свойства и правила формирования показателей качества.....	108
6.4 Методы определения показателей качества	112
6.5 Контрольные вопросы.....	115
Перечень сокращений.....	117
Список литературы.....	118

Введение

С развитием науки, техники и разработкой новых технологий измерения охватывают все новые и новые физические величины, существенно расширяются диапазоны измерений как в сторону измерения сверхмалых значений, так и в сторону очень больших значений физических величин. Непрерывно повышаются требования к точности измерений; с высокой точностью необходимо измерять параметры и характеристики процессов в частотном диапазоне от инфранизких до сверхвысоких частот; при этом геометрические размеры объектов измерения многократно отличаются друг от друга (изделия микроэлектроники и изделия крупного машиностроения).

В этих условиях, чтобы успешно справиться с многочисленными и разнообразными проблемами измерений, необходимо освоить некоторые общие принципы их решения, нужен единый научный и законодательный фундамент, обеспечивающий на практике высокое качество измерений, независимо от того, где и с какой целью они производятся. Таким фундаментом является *метрология - наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности*.

Если еще в начале XX века под словом метрология понималась наука, главной задачей которой было описание всякого рода мер, применяемых в разных странах, областях, городах, то теперь это понятие приобрело гораздо более широкий научный и практический смысл, расширилось содержание метрологической деятельности. Сформировались и развиваются две взаимосвязанные ветви метрологии: научная и законодательная метрология. Научная метрология, являясь базой измерительной техники, занимается изучением проблем измерения в целом и образующих измерение элементов: средств измерений, физических величин и их единиц, методов и методик измерений, результатов и погрешностей измерений и др.

В сферу деятельности современной метрологии входит и определение наиболее точных значений важнейших физических констант (скорости света, ускорения силы тяжести и др.), необходимых для многих отраслей науки и техники. Метрология обеспечивает потребителей стандартными образцами веществ и материалов, состав и физико-химические характеристики которых определены с необходимой точностью. *Методы метрологии широко используются в смежных отраслях знаний, таких, как оценивание и контроль качества продукции, сертификация промышленной продукции, аттестация программ и алгоритмов обработки данных и др.*

Однако само по себе знание метрологических правил и норм еще не дает гарантии успешной инженерной деятельности. Совершенно необходимо *изучить и освоить методы измерений и основные принципы построения средств измерения физических величин*. При этом на первое место следует поставить знание методов измерения. Это обусловлено тем, что именно методы измерений и физические принципы работы приборов являются

наиболее постоянными компонентами, тогда как конкретные схемные решения и элементная база средств измерения непрерывно изменяются и совершенствуются.

Попадая на производство, специалист, будучи прямо или косвенно связан по работе с измерениями, сталкивается с обилием измерительных задач, нормативных документов общетехнического и метрологического содержания, исполнение которых обязательно (стандарты, методические указания, инструкции). Облегчить ему изучение методов и средств измерений и выполнение требований этих документов должно изучение дисциплин «Метрология и измерения» и «Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством».

В настоящее время это направление называется *техническим регулированием*. Стандартизация и сертификация являются одними из важнейших составляющих процесса технического регулирования.

Реформа технического регулирования затрагивает механизмы формирования системы обязательных требований, оценки и подтверждения соответствия, процедур контроля и надзора, аккредитации и стандартизации. Проведение такой реформы обусловлено необходимостью создания благоприятных условий для функционирования и самоорганизации рыночных механизмов хозяйствования. Изменение уклада казахстанской экономики, произошедшее в последние годы, не могут обеспечиваться и поддерживаться устаревшей системой государственной стандартизации и обязательной сертификации.

Одним из основных условий вступления Казахстана в ВТО было соблюдение принципов технического регулирования, установленных Соглашением по техническим барьерам в торговле, Соглашением по применению санитарных и фитосанитарных мер и Кодексом добросовестной практики.

С принятием и вступлением в силу Закона «О техническом регулировании» наступает новый, переходный этап развития стандартизации, сертификации и метрологии в Казахстане, который связан с реализацией положений Закона и характеризуется изменением статуса стандартов.

Государственные стандарты Республики Казахстан из основного инструмента государственного технического регулирования трансформируются в добровольные национальные стандарты, которые совместно с международными стандартами служат основой для разработки технических регламентов; способствуют соблюдению обязательных требований, устанавливаемых в технических регламентах, а также содержат опережающие нормы по качеству и безопасности в целях повышения конкурентоспособности продукции.

Стандартизация, сертификация и метрология являются ключевыми факторами поддержки ряда направлений государственной политики таких, как конкуренция, внедрение инноваций, устранение торговых барьеров,

расширение торговли, защита прав и интересов потребителей, защита окружающей среды, государственные закупки и т.д.

В целях обеспечения эффективной государственной политики в области стандартизации, сертификации и метрологии необходимо создание единой национальной системы стандартизации и единства измерений Республики Казахстан, организации подтверждения соответствия требованиям технических регламентов.

Метрология, стандартизация и сертификация – инструменты повышения качества. В соответствии с международным стандартом ИСО 9000:2000 качество – это совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности.

Под управлением качеством продукции понимаются действия, осуществляемые при создании, эксплуатации и потреблении продукции для установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

Концепция национальной политики Казахстана в области качества продукции и услуг подчеркивает, что главной задачей отечественной экономики в XXI веке является рост конкурентоспособности за счет роста качества.

В этой связи возрастают требования к уровню подготовки будущих специалистов в области производства и коммерции, к широте их кругозора как потребителей.

По своей структуре учебное пособие состоит из шести глав, обеспечивающих в совокупности необходимый уровень подготовки специалистов в области разработки систем автоматизации и управления по метрологии, стандартизации, сертификации и управлению качеством.

В первой главе учебного пособия излагаются основы метрологии, усвоение которых позволит студенту осознанно подойти к изучению методов и средств измерения наиболее распространенных физических величин.

Вопросы анализа результатов и погрешностей измерений изложены во второй главе. В третьей главе подробно изложены вопросы обработки результатов однократных и многократных измерений. Методы и средства измерения физических величин изложены в четвертой главе учебного пособия. Пятая глава посвящена вопросам стандартизации и сертификации (техническое регулирование). В шестой главе рассмотрены вопросы управления качеством продукции, знание которых совершенно необходимо любому специалисту по автоматизации и управлению, а также инженеру-исследователю, конструктору, технологу.

1 Основы метрологии

1.1 Метрология – научная основа Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ)

Казахстан вошел в рыночную экономику. Чтобы стать равноправным участником мирового хозяйства и международных экономических отношений, необходимо совершенствование национальной экономики с учетом мировых достижений и тенденций.

Для перенесения зарубежного опыта в условия отечественного производства чрезвычайно важны знания в области метрологии, стандартизации и сертификации для специалистов не только производственной сферы, но и для специалистов по реализации продукции, менеджеров, маркетологов. Эти знания важны для внедрения достижений науки и техники в производство, чтобы использовать возможности и преимущества стандартизации и сертификации при создании конкурентоспособных изделий.

Необходимость знаний по метрологии, стандартизации и сертификации современным специалистам доказывается введением этой дисциплины в учебный план специальности. Для определения места данной дисциплины среди других дисциплин, изучаемых студентами специальности «Автоматизация и управление», рассмотрим структурную схему автоматизированной системы управления технологическими процессами (АСУ ТП), приведенную на рисунке 1.1, с точки зрения изучения отдельных ее блоков различными дисциплинами.

На объект автоматизации (ОА), которым может быть любой участок технологического процесса, подаются сырье, реагенты, а также воздействуют различные внешние воздействия (ВВ), например, температура окружающей среды, вибрация, давление и т.п. На выходе ОА получают различные продукты производства. Измерительную информацию об ОА для формирования процесса автоматизации получают с помощью средств измерений – датчиков (Д) и вторичных приборов (ВП). Современные производства характеризуются значительной сложностью и мощностью технологических аппаратов, большим числом различных параметров, которые необходимо снять (измерить). Измерения осуществляются с помощью специальных технических средств, различных по сложности и принципам действия, которые называются измерительными устройствами, установками, системами и относятся к измерительной технике. Изучению данной измерительной техники, их классификации, метрологических характеристик и различных свойств посвящается раздел метрологии.

С изучением ЭВМ, программированием для разработки математических моделей (ММ) технологических процессов и объектов, аналого-цифровых преобразователей (АЦП), цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП), автоматических регуляторов (АР), исполнительных механизмов (ИМ) студенты встретятся в других дисциплинах таких, как информатика,

математическое моделирование, элементы и средства автоматики, микропроцессоры и микропроцессорные системы, автоматизация технологических процессов и другие.

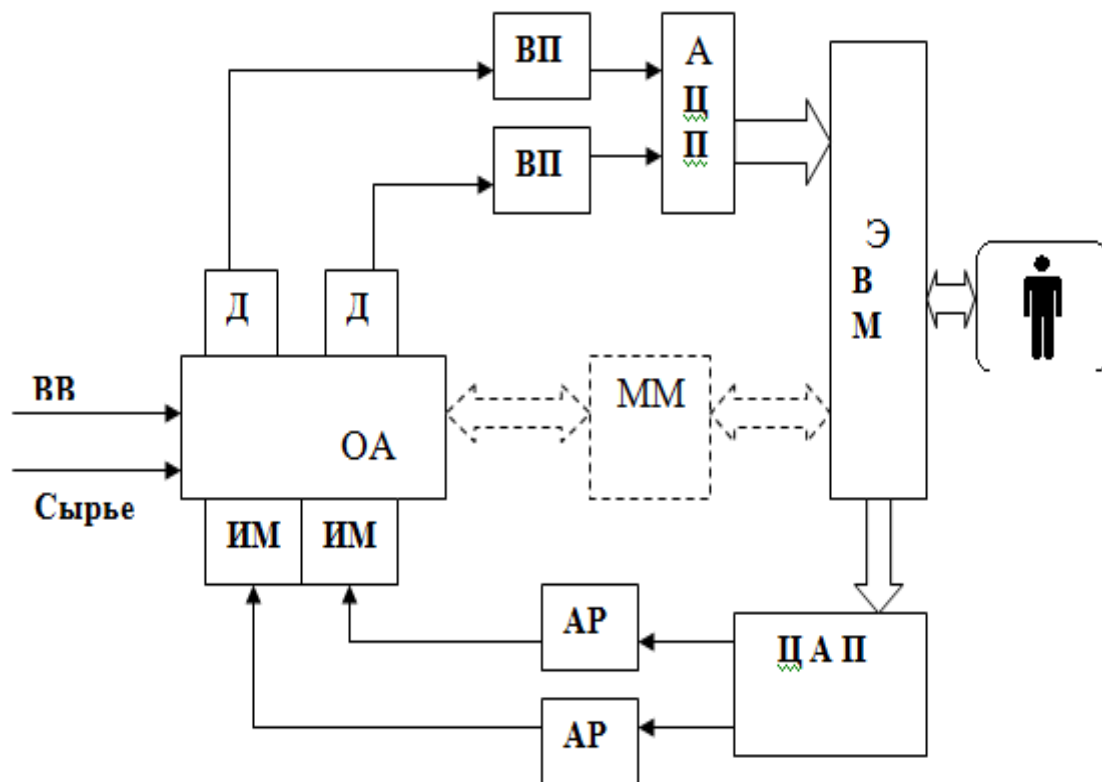


Рисунок 1.1 – Структурная схема АСУ ТП

Метрология – научная основа Государственной системы обеспечения единства измерений (ГСИ) [18]. В дословном переводе с древнегреческого *μετρον* — мера, а *λογος* — речь, слово, учение или наука. Слово «мера» в общем смысле означает средство оценки чего-либо. В метрологии оно имеет два значения: как обозначение единицы (например, «квадратные меры») и как средство для воспроизведения единицы величины. В современной метрологии термин «мера физической величины» означает средство измерения, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины одного или нескольких заданных размеров. Примером мер являются гири, измерительные сопротивления и т.п. Таким образом, метрология — наука об измерениях.

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

Предмет метрологии как науки об измерениях составляют следующие задачи:

- общая теория измерений;

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

Современная метрология включает в себя три вида:

- законодательная метрология;
- фундаментальная (теоретическая) метрология;
- практическая (прикладная) метрология.

Законодательная метрология – это раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных и взаимообусловленных общих правил, а также другие вопросы, нуждающиеся в регламентации и контроле со стороны государства, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений.

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

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы.

Единство измерений необходимо для того, чтобы можно было сопоставлять результаты измерений, выполненных различными измерительными устройствами в разных местах и в разное время. Причем сохранение единства измерений является важным как внутри страны, так и во взаимоотношениях между странами.

Деятельность по обеспечению единства измерений регулируется Законом РК «Об обеспечении единства измерений», принятом в 1993 г [4]. Это закон устанавливает правовые основы обеспечения единства измерений в РК. Он регулирует отношения государственных органов управления РК с физическими и юридическими лицами по вопросам изготовления, выпуска, эксплуатации, ремонта, продажи, поверки и импорта средств измерений и направлен на защиту интересов граждан и экономики страны от отрицательных последствий недостоверных результатов измерений.

До 1993 года правовые нормы в области метрологии устанавливались постановлениями Правительства РК. Закон «Об обеспечении единства измерений» установил немало нововведений – от терминологии до лицензирования метрологической деятельности.

Основные статьи Закона устанавливают:

- а) организационную структуру государственного управления обеспечением единства измерений;
- б) нормативные документы по обеспечению единства измерений;
- в) единицы величин и государственные эталоны единиц величин;

г) средства и методики измерений.

Законодательная метрология служит средством государственного регулирования метрологической деятельности посредством законов и законодательных положений, которые вводятся в практику через Государственную метрологическую службу (ГМС) и метрологические службы государственных органов управления и юридических лиц.

К области законодательной метрологии относятся испытания и утверждение типа средств измерений (СИ), государственный метрологический контроль и надзор за СИ, а также мероприятия по реальному обеспечению единства измерений.

Обеспечение единства измерений - одна из основных задач метрологии. Эта задача может быть решена при соблюдении двух основополагающих условий:

- выражение результатов измерений в единых узаконенных единицах;
- установление допустимых погрешностей результатов измерений и пределов, за которые они не должны выходить при заданной вероятности.

Фундаментальная и практическая метрологии появились еще в древние времена.

Потребность в измерениях возникла в незапамятные времена. Для этого в первую очередь использовались подручные средства. Из глубины веков дошли до нас единица веса драгоценных камней — *карат*, что в переводе с языков древнего юга-востока означает «семя боба», «горошина»; единица аптекарского веса — *гран*, что в переводе с латинского, французского, английского, испанского означает «зерно» [17].

В Древней Руси основой системы мер были древнеегипетские единицы измерений, заимствованные в Древней Греции и Риме. Наименования единиц и их размеры соответствовали возможности осуществления измерений «подручными» способами, не прибегая к специальным устройствам. Многие меры имели антропометрическое происхождение или были связаны с конкретной трудовой деятельностью человека. Так, в Киевской Руси применялись в обиходе *вершок* — «верх перста» — длина фаланги указательного пальца; *пядь* — от «пять», «пятерня» — расстояние между концами вытянутых большого и указательного пальцев; *локоть* — расстояние от локтя до конца среднего пальца; *сажень* (русская мера = 3 локтя = 152 см) — от «сягать», «достигать», т.е. можно достать; *косая сажень* (248 см) — предел того, что можно достать: расстояние от подошвы левой ноги до конца среднего пальца вытянутой вверх правой руки; *верста* - от «верти», «поворачивая» плуг обратно, длина борозды; аршин (его появление повлекло исчезновение пяди — $\frac{1}{4}$ аршина).

Древнее происхождение имеют «естественные» меры. Первыми из них, получившими повсеместное распространение, стали меры времени. На основе астрономических наблюдений древние вавилоняне установили *год*, *месяц*, *час*. Впоследствии $\frac{1}{86400}$ часть среднего периода обращения Земли вокруг своей оси получила название *секунды*. Наряду с этим уже на заре цивилизации люди

пришли к пониманию ценности так называемых «вещественных» мер и единиц измерений. Так, в Вавилоне во II в. до н. э. время измерялось в *минах*. Мина равнялась промежутку времени (равному, примерно, двум астрономическим часам), за который из принятых в Вавилоне водяных часов вытекала «мина» воды, масса которой составляла около 500 г. Впоследствии мина сократилась и превратилась в привычную для нас *минуту*. Со временем водяные часы уступили место песочным, а затем более сложным маятниковым механизмам.

Ни в древнем мире, ни в средние века не существовало метрологической службы, но имеются сведения о применении образцовых мер и хранении их в церквях и монастырях, а также о ежегодных поверках средств измерений. Так, «золотой пояс» великого князя Святослава Ярославича (1070-е гг.) служил образцовой мерой длины, а в уставе новгородского князя Всеволода «О церковных судах и о людях и о мерилах торговли», изданном в 1136 г., предписывалось «... торговля все весы и мерила блюсти без пакости, ни умаливати, ни умноживати, а всякий год извещивати ...». Нарушитель мог быть наказан вплоть до «... предания казни смертию» [17].

Метрологической реформой Петра I к обращению в России были допущены английские меры, получившие особенно широкое распространение на флоте и в кораблестроении — *футы*, *дюймы*. Для облегчения вычислений были изданы таблицы мер и соотношений между русскими и иностранными мерами:

- дюйм («палец» = 2,54 см);
- английский фут = 12 дюймов = 30,48 см.

Идея построения системы измерений на десятичной основе принадлежит французскому астроному Г. Мутону, жившему в XVII в.

8 мая 1790 г. Учредительное собрание Франции приняло декрет о реформе системы мер и поручило Парижской академии наук разработать соответствующие предложения. Комиссия академии, руководимая Лагранжем, рекомендовала десятичное подразделение кратных и дольных единиц. На основе этой единственной единицы — *метра* — строилась вся система, получившая название *метрической*. За единицу площади принимался *квадратный метр*, за единицу объема — *кубический метр*, за единицу массы — *килограмм* — масса кубического дециметра чистой воды при температуре 4°C. Метрическая система с самого начала была задумана как международная. Ее единицы не совпадали ни с какими национальными единицами.

7 апреля 1795 г. Конвент принял закон о введении метрической системы во Франции и поручил комиссарам выполнить работы по экспериментальному определению единиц длины и массы. В 1799 г. эта работа, проходившая под наблюдением международной комиссии, была закончена, и утвержденные законом платиновые прототипы метра и килограмма сданы на хранение Архиву Франции. С тех пор они именуются *архивными*.

Несмотря на свои очевидные преимущества, метрическая система внедрялась с большим трудом и была окончательно введена во Франции с 1 января

1840 г. как обязательная. Ее значимость подчеркивал Д.И. Менделеев как средство содействия «будущему желанному сближению народов».

С развитием науки и техники требовались новые измерения и новые единицы измерения, что стимулировало развитие фундаментальной и прикладной метрологии. Первоначально прототип единиц измерения искали в природе, исследуя макрообъекты и их движение. Так, *секунда* – часть периода обращения Земли вокруг своей оси. Постепенно поиски переместились на атомный и внутриатомный уровень. Теперь секунда – продолжительность 9192631770 периодов излучения, соответствующего переходу между двумя уровнями сверхтонкой структуры основного состояния атома Цезия-133 при отсутствии возмущения со стороны внешних полей.

Таким образом, метрология, как наука, динамически развивается.

Дальнейшее развитие фундаментальной метрологии подтверждают определения единиц физических величин (ФВ), принятых в *Международной системе единиц физических величин (системе СИ)*, дающих представление о природном, естественном происхождении принятых единиц ФВ.

1.2 Физическая величина

Бесконечное множество физических объектов, окружающих нас, обладает бесконечным множеством различных качеств и свойств. Из этого огромного количества человек выделяет некоторое ограниченное число свойств, общих в качественном отношении для ряда однородных объектов и достаточных для их описания. В каждом таком качестве, в свою очередь, может быть выделено множество градаций. Если мы в состоянии установить размер градации, т.е. единицу данного свойства, и физически реализовать ее в виде меры или шкалы, то сопоставив размер интересующего нас свойства объекта с такой мерой или со шкалой, мы получим его количественную оценку. Свойства, для которых могут быть установлены и воспроизведены градации определенного размера, называются *физическими величинами*.

В стандарте на термины и определения в области метрологии физическая величина определена как *свойство, общее в качественном отношении для множества объектов, физических систем, их состояний и происходящих в них процессов, но индивидуальное в количественном отношении для каждого из них [2]*.

Качественная сторона понятия физическая величина определяет «род» величины (длина, как характеристика протяженности вообще; электрическое сопротивление, как общее свойство проводников электричества и т.п.), а количественная – ее «размер» (длина конкретного предмета, сопротивление конкретного проводника). Размер физической величины существует объективно, независимо от того, знаем мы его или не знаем.

Целью измерения и его конечным результатом является нахождение значения физической величины. *Значение физической величины* – оценка физической величины в принятых для измерения данной величины единицах.

Понятно, что числовое значение результата измерения будет зависеть от выбора единицы физической величины.

Метрология изучает и имеет дело только с измерениями физических величин, т.е. величин, для которых может существовать физически реализуемая и воспроизводимая единица величины.

В теории измерений вводятся понятия истинного, измеренного и действительного значения физической величины.

Нахождение *истинного значения измеряемой физической величины* является центральной проблемой метрологии. Стандарт определяет истинное значение как значение физической величины, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующее свойство объекта [2]. Одним из постулатов метрологии является положение о том, что истинное значение физической величины существует, однако, определить его путем измерения невозможно.

Рассмотрим пример измерения диаметра круглого диска. Казалось бы, что измерение диаметра диска можно проводить со все более и более высокой точностью, стоит лишь выбрать соответствующие по точности средства измерений. Но когда погрешность средства измерения станет порядка размеров молекулы, мы обнаружим, что наблюдается как бы размывание краев диска, обусловленное хаотическим движением молекул, и за каким-то пределом точности само понятие диаметра диска теряет свой первоначальный смысл, и дальнейшее повышение точности измерения бесполезно. Очевидно, что понятие «истинного» значения диаметра в этом случае приобретает совсем иной, вероятностный, смысл и можно лишь с определенной вероятностью установить интервал значений, в котором оно находится. Следовательно, приведенное в стандарте определение истинного значения может быть применено лишь для объектов макромира.

Поскольку истинное значение физической величины определить невозможно, в практике измерений оперируют понятием действительного значения. *Действительное значение* - значение физической величины, найденное экспериментальным путем и настолько приближающееся к истинному, что для данной цели может быть использовано вместо него.

Под *измеренным значением* понимается значение величины, отсчитанное по отсчетному устройству средства измерения.

Измеряемая физическая величина - физическая величина, подлежащая измерению в соответствии с поставленной измерительной задачей.

Влияющая физическая величина - физическая величина, непосредственно не измеряемая средством измерения, но оказывающая влияние на него или на объект измерения таким образом, что это приводит к искажению результата измерения. Так, например, при измерении сопротивления резистора влияющей величиной может быть температура, если сопротивление резистора зависит от температуры.

Постоянная величина - физическая величина, размер которой по условиям измерительной задачи можно считать не изменяющимся за время, превышающее длительность измерения.

Переменная величина - физическая величина, изменяющаяся по размеру в процессе измерения.

1.3 Системы единиц физических величин.

Количественная информация о свойствах изучаемых объектов может быть получена при помощи измерения. Для того чтобы ее можно было получать, то есть устанавливать различия в количественном содержании свойства, отображаемого физической величиной, в метрологии введены понятия размерности и размера. Эти понятия связаны с тем, что любая физическая величина может выделяться качественно и определяться количественно.

Отражением качественного различия между физическими величинами является их размерность. В соответствии с международным стандартом ISO 31/0 размерность следует обозначать *dim*. Размерность основных физических величин обозначается прописными латинскими или греческими буквами. Если основными физическими величинами являются длина, масса и время, то они обозначаются L, M, T соответственно.

Совокупность физических величин, образованная в соответствии с принятыми принципами, когда одни величины принимают за независимые, а другие определяют в качестве функций независимых величин, называется *системой физических величин*. Физическая величина, условно принятая в качестве независимой от других величин системы, называется *основной*. Физическая величина, входящая в систему величин и определяемая через основные величины этой системы, называется *производной*.

При определении размерности производных величин используют уравнения связи - уравнения, отражающие связь между величинами, в которых буквенными символами обозначают физические величины. Уравнения связи могут отражать законы природы (например, закон Ома $I = U/R$) или быть определениями некоторых величин (например, плотности $\rho = m/V^3$). Чтобы найти размерность производной физической величины в некоторой системе величин, надо в правую часть уравнения связи, используемого для определения этой величины, вместо обозначений величин подставить их размерности.

Система единиц физических величин – это совокупность основных и производных единиц физических величин.

В XIX в. непрерывно укреплялось взаимодействие различных отраслей науки и техники, расширялись международные научные и экономические связи. Это настойчиво требовало единообразия в выражении результатов измерений физических величин. Начались работы по созданию приемлемой для всех системы единиц.

Методику построения такой системы впервые предложил в 1832 г. немецкий ученый К. Гаусс. Его идея заключалась в том, что за основу системы принимают несколько основных независимых друг от друга физических величин, единицы измерения которых выбирают независимо одна от другой и называют основными единицами системы. Все остальные величины называют производными и их единицы измерений устанавливают через основные, используя известные физические законы и соотношения. Эти соотношения в метрологии называют уравнениями связи между величинами.

К. Гаусс по предложенной им методике построил систему на основе трех основных единиц: миллиметра как единицы длины, миллиграмма как единицы массы, секунды как единицы времени. Он назвал свою систему *абсолютной*. Единицы величин, предложенные К. Гауссом, были неудобны для использования в господствовавших в те времена разделах физики, поэтому его система единиц широкого распространения не получила, но методика построения системы осталась.

В дальнейшем стали появляться системы единиц физических величин, приспособленные для нужд в различных областях науки и техники. В числе других в практике измерений применялись следующие системы.

1.3.1 Система СГС.

Была разработана еще в 1861-1870-е гг. и введена в мировую практику 1-м Международным конгрессом электриков в 1881 г. Основными единицами системы являются *сантиметр, грамм, секунда* (СГС). Исторически сложилось так, что в разное время существовало семь разновидностей системы СГС, применявшихся в разных видах измерений. Так, в электрических измерениях применялась система СГСЭ, в которой наряду с тремя основными единицами принималась равной безразмерной единице диэлектрическая проницаемость вакуума, что позволяло связать механические величины с электрическими, используя закон Кулона. В магнитных измерениях использовали систему СГСМ, в которой принималась равной безразмерной единице магнитная проницаемость. Размеры электрических и магнитных единиц в этих системах не совпадали друг с другом. Например, единица силы электрического тока в системе СГСЭ имеет значение $1 \text{ ед. СГСЭ} = 3,33564 \cdot 10^{-10} \text{ А}$, а в системе СГСМ - $1 \text{ ед. СГСМ} = 10 \text{ А}$. Этому недостатка лишена так называемая симметричная система СГС, в которой одновременно приравнены к единице диэлектрическая и магнитная проницаемости вакуума. Но в «наказание» за это удобство в некоторых уравнениях электромагнетизма появляется дополнительный множитель в виде физической константы - скорости света.

Система СГС (симметричная) отличается стройностью и логичностью построения, она когерентна (согласована) и широко применялась в большинстве областей физики для измерений и расчетов до введения в практику международной системы СИ. Но следует отметить, что многие единицы СГС имеют неудобные для практического использования размеры.

1.3.2 Система МКГСС.

Как известно, прототип килограмма был первым принят как единица веса. Применение килограмма как единицы веса, а затем как единицы силы привело в конце XIX в. к созданию системы единиц с тремя основными единицами: *метр* - единица длины, *килограмм-сила* - единица силы, *секунда* - единица времени (система МКГСС). Эта система применялась в механике и в технике. Одной из причин популярности системы явилось удобство выражения сил в единицах веса и удобный для практики размер основной единицы силы.

Основным недостатком системы является ее несогласованность (некогерентность) с единицами электрических и магнитных величин, так что для перехода в расчетах от механических величин к электрическим требуется переходный множитель. Кроме того, единица массы системы МКГСС связана с единицей массы системы СИ через ускорение свободного падения, $1 \text{ ед. МКГСС} \sim 9,81 \text{ кг}$.

1.3.3 Система МТС.

Впервые была установлена во Франции. Основными единицами системы МТС являются: *метр* - единица длины, *тонна* - единица массы и *секунда* - единица времени. Выбор тонны в качестве единицы массы казался удачным, так как достигалось соответствие между единицами длины, объема и массы (с точностью, достаточной для многих технических расчетов, 1 т соответствует массе 1 м^3 воды).

1.3.4 Абсолютная практическая система электрических единиц.

Была установлена 1-м Международным конгрессом электриков в 1881 г. в качестве производной СГСМ и предназначалась для практических измерений с целью приближения к практике размеров единиц электрических и магнитных величин. В абсолютной практической системе электрические и магнитные единицы были образованы умножением единиц системы СГСМ на соответствующие степени числа 10. Так появились распространенные ныне единицы электрических величин: *вольт*, *ампер*, *ом*, *фарада*. На 2-м Международном конгрессе электриков, состоявшемся в 1889 г., к этим единицам добавились *джоуль*, *ватт*, *квадрант* (впоследствии замененный на *генри*).

1.3.5 Система МКСА.

Основными единицами системы являются *метр*, *килограмм*, *секунда* и *ампер*. Введение в число основных единиц единицы силы тока позволило согласовать механические единицы: метр, килограмм, секунду и др. - с практическими электрическими единицами: вольт, ом, ватт и т. д. В настоящее время система МКСА является составной частью международной системы единиц СИ.

1.4 Международная система единиц СИ

Международная система единиц (международное сокращенное наименование SI, а в русской транскрипции СИ) построена на основе системы величин LMTI ѿ N. Решение о создании практической

международной системы единиц было принято в 1948 г. на IX Генеральной конференции по мерам и весам (ГКМВ). В 1960 г. проект Международной системы единиц, основанной на шести основных единицах, был утвержден. В 1971 г. к единицам СИ была добавлена седьмая основная единица - количество вещества - моль. Международная организация по стандартизации (ISO) издала международные стандарты ISO 31: 1992 «Величины и единицы» в 14 частях и ISO 1000: 1992 «Единицы СИ и рекомендации по использованию их кратных и некоторых других единиц».

Принципы построения системы СИ:

1) СИ базируется на семи основных единицах, размеры которых устанавливаются независимо друг от друга;

2) производные единицы образуются с помощью простейших уравнений связи между величинами - определяющих уравнений, в которых размеры величин приняты равными единицам СИ. Для величины каждого вида имеется только одна единица СИ;

3) производные единицы вместе с основными единицами формируют когерентную систему;

4) наряду с единицами СИ к применению допущено ограниченное число внесистемных единиц (вне СИ - внесистемных) из-за их практической важности и повсеместного применения в различных областях деятельности;

5) единицы СИ или внесистемные единицы могут применяться с приставкой, что означает умножение единицы на десять, возведенное в определенную степень. Единицы, содержащие приставку, называются десятичными кратными или дольными в зависимости от того, является показатель степени положительным или отрицательным.

Основными единицами Международной системы являются:

1) *метр* (международное обозначение *m*; русское - м; размерность L) - единица длины, равная пути, пройденному в вакууме светом за интервал времени $1/299\,792\,458$ с (одобрено на XVII ГКМВ, 1983 г., резолюция 1);

2) *килограмм* (международное обозначение kg; русское - кг; размерность M) - единица массы, равная массе международного прототипа килограмма (одобрено на III ГКМВ, 1901 г., резолюция 3);

3) *секунда* (международное обозначение s; русское - с; размерность T) - единица времени, равная $9\,192\,631\,770$ периодам излучения, соответствующего переходу между двумя сверхтонкими уровнями основного состояния атома цезия-133 (одобрено на XIII ГКМВ, 1967 г., резолюция 1);

4) *ампер* (международное обозначение A; русское - А; размерность I) - единица силы электрического тока. Ампер равен силе неизменяющегося тока, который при прохождении по двум параллельным прямолинейным проводникам бесконечной длины и ничтожно малой площади кругового поперечного сечения, расположенным в вакууме на расстоянии 1 м один от другого, вызвал бы на каждом участке проводника длиной 1 м силу взаимодействия, равную $2 \cdot 10^{-7}$ Н (одобрено на IX ГКМВ, 1948 г.);

5) *кельвин* (международное обозначение K; русское - К; размерность Θ)

- единица термодинамической температуры, равная $1/273,16$ части термодинамической температуры тройной точки воды (одобрено на XIII ГКМВ, 1967 г., резолюция 4);

б) *кандела* (международное обозначение *cd*; русское - кд; размерность J) - единица силы света. Кандела есть сила света в заданном направлении источника, испускающего монохроматическое излучение частотой $540 \cdot 10^{12}$ Гц, электрическая сила света которого в этом направлении составляет $1/683$ Вт/ср (одобрено на XVI ГКМВ, 1979 г., резолюция 3);

7) *моль* (международное обозначение *mol*; русское - моль; размерность N) - единица количества вещества. Моль есть количество вещества системы, содержащей столько же структурных элементов, сколько содержится атомов в углероде-12 массой $0,012$ кг. При применении моля структурные элементы должны быть специфицированы и могут быть атомами, ионами, электронами и другими частицами или специфицированными группами частиц (одобрено на XIV ГКМВ, 1971 г., резолюция 3).

Несмотря на то что названия единиц в разных языках различны, их обозначения являются международными, и по рекомендациям ISO 31-0:1992 никакие другие обозначения единиц, кроме международных, использовать не следует. Тем не менее ГОСТ 8.417 установил два вида буквенных обозначений величин: международное (с использованием букв латинского или греческого алфавита) и русское (с использованием букв русского алфавита). Но при договорно-правовых отношениях сотрудничества с зарубежными странами, при участии в деятельности международных организаций, а также в поставляемой за границу вместе с экспортной продукцией технической и другой документации применяют международные обозначения единиц.

В систему СИ были введены две дополнительные единицы - радиан истерадиан:

- *радиан* (обозначение международное *rad*, русское - рад) - единица измерения плоского угла, равная внутреннему углу между двумя радиусами окружности, длина дуги между которыми равна радиусу;

- *стерадиан* (обозначение международное *sr*, русское - ср) - единица телесного угла. Стерадиан равен телесному углу с вершиной в центре сферы, вырезающему на поверхности этой сферы площадь, равной площади квадрата со стороной, равной радиусу.

Система СИ является *когерентной*. Если уравнение связи содержит числовой коэффициент, отличный от 1, то для образования когерентной производной единицы СИ в правую часть подставляют величины со значениями в единицах СИ, дающими после умножения на коэффициент общее числовое значение, равное 1.

П р и м е р - Если для образования единицы энергии используют уравнение $E = 1/2 mv^2$, где E - кинетическая энергия, m - масса материальной точки, v скорость движения точки, то когерентную единицу СИ образуют, например, следующим образом:

$$[E] = 0,5(2[m][v]^2) = 0,5(2 \text{ кг})(1 \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг м/с}^2 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж};$$

$$[E] = 0,5(1 \text{ кг})(\sqrt{2} \text{ м/с})^2 = 1 \text{ кг м/с}^2 \text{ м} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м} = 1 \text{ Дж}.$$

Следовательно, единицей энергии СИ является джоуль, равный ньютон-метру. В этом примере джоуль равен кинетической энергии тела массой 2 кг, движущегося со скоростью 1 м/с, или же тела массой 1 кг, движущегося со скоростью $\sqrt{2}$ м/с.

Одновременно с принятием Международной системы единиц XI ГКМВ приняла 12 десятичных кратных и дольных приставок, к которым впоследствии были добавлены новые. Приставка, объединенная с единицей, означает, что единица умножена на десять в целой степени. Новая единица называется кратной или дольной. В [16] приведены 20 приставок, которые используются в системе СИ.

Приставки используются для того, чтобы избежать больших или малых числовых значений, но следует обращать внимание на то, что дольные и кратные единицы не являются когерентными единицами СИ. Чтобы использовать только когерентные единицы, в процессе вычислений все величины необходимо выражать в единицах СИ, а кратные и дольные единицы рекомендуется подставлять только в конечный результат.

Из многообразия кратных и дольных единиц, которые могут быть образованы при помощи приставок, выбирают единицу, позволяющую получить числовые значения, приемлемые на практике. Кратные и дольные единицы выбирают таким образом, чтобы числовые значения величины находились в диапазоне 0,1-1000.

Приставки «гекто», «деци», «дека», «санتي» должны использоваться, когда применение других приставок неудобно. Присоединение к наименованию единицы двух и более приставок подряд не допускается. Например, вместо наименования единицы микромикрофарад следует писать пикофарад.

В связи с тем, что наименование основной единицы - килограмма - содержит приставку «кило», для образования кратных и дольных единиц массы используется дольная единица грамм и приставки необходимо присоединять к слову «грамм»: например, миллиграмм (мг) вместо микрокилограмм (мккг). Дольную единицу массы - грамм - допускается применять без присоединения приставки.

Единицы СИ охватывают практически все области науки и техники. Однако ГКМВ было признано использование некоторых внесистемных единиц наравне с единицами СИ из-за их практической важности. Некоторые единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ, приведены в таблице 1.1.

Если единица, к которой присоединяется приставка, образована как произведение или отношение единиц, приставку присоединяют к наименованию первой единицы. Например, единицу паскаль-секунда на метр (Па·с/м) с приставкой *правильно* писать так: килопаскаль-секунда на метр (кПа с/М) - и *неправильно*: паскаль-килосекунда на метр (Па·кс/м).

При образовании производных единиц СИ, как правило, полученная единица имеет наименование, состоящее из наименований соответствующих основных единиц, например: метр в секунду (м/с), метр в секунду в квадрате

(м/с²). Из практических соображений некоторым производным единицам дали специальные наименования и обозначения по именам ученых, сокращенное наименование таких единиц пишут с прописной буквы, например: один ампер - 1 А. При склонении наименований производных единиц, состоящих из произведения единиц, изменяют только последнее наименование и относящееся к нему прилагательное, например: килограмм-метра в квадрате, ньютон-секунды и т. д. [16].

Таблица 1.1 - Внесистемные единицы, допускаемые к применению наравне с единицами СИ

Наименование величины	Единица			
	Наимено- вание	Обозначение		Соотношение с единицей СИ
		Междуна- родное	русское	
Время	минута час день	min h d	мин ч сут	1 min = 60 s 1 h = 60 min = 3600 s 1 d = 24 h = 86 400 s
Плоский угол	градус минута секунда	о ' "	о ' "	1° = (π/180) rad 1' = (1/60)° = (π/10 800) rad 1" = (1/60)' = (π/648 000) rad
Объем	литр	L	л	1 L = 1 dm ³ = 10 ⁻³ m ⁻³
Масса	тонна	t	т	1 t = 10 ³ kg
Уровень	непер бел	Np B	Нп Б	1 Np = 1 1 B = (1/2)ln 10 Np

Нельзя в тексте давать обозначение единицы без указания числового значения величины. Например, будет неверным выражение: «Вычисления ведутся в %». Правильно: «Вычисления ведутся в процентах».

1.5 Измерение

Целью измерения является нахождение *размера физической величины*, который определяется как количественная определенность физической величины, присущая конкретному материальному объекту, системе, явлению или процессу.

В результате измерения получают *значение физической величины* - выражение размера физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц.

С измерениями связаны такие понятия, как *шкала измерений, принцип измерений, метод измерений*.

1.5.1 Основное уравнение измерений.

Прежде чем сформулировать принятое в метрологии определение понятия «измерение», отметим следующее. Измерять можно лишь свойства реально существующих объектов познания, отражаемые физическими величинами. Измерение основывается на экспериментальных процедурах; никакие теоретические рассуждения или расчеты сами по себе не могут классифицироваться, как измерение. Для проведения измерительного эксперимента необходимы особые технические средства измерений. Результатом измерения является оценка физической величины в виде некоторого числа принятых для нее единиц. С учетом этих положений принято следующее определение [16].

Измерение - процесс получения опытным путем числового соотношения между измеряемой величиной и некоторым ее значением, принятым за единицу сравнения.

Число, выражающее отношение измеряемой величины к единице измерения, называется *числовым значением измеряемой величины*. Причем оно может быть целым или дробным, но является отвлеченным числом.

Значение величины, принятое за единицу измерения, называется *размером* этой единицы.

Тогда *основное уравнение измерений* можно записать в следующем виде:

$$X = A \cdot u, \quad (1.1)$$

где X – измеряемая величина;

A – числовое значение измеряемой величины;

u – единица измерения.

Значение A зависит от размера выбранной единицы измерения u . Например, $X=1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 10 \text{ дм}$.

Результат всякого измерения является *именованным* числом.

Измерения обычно осуществляются на объектах измерения. *Объект измерения* (ОИ) – это физическая величина (п.1.2). Примеры физических величин: температура, удельный вес, плотность, длина и другие. *Размер физической величины* – количественное содержание в данном объекте свойства, соответствующего понятию «физическая величина». *Размер единицы физической величины*, вообще говоря, может быть любым. Однако измерения должны выполняться в общепринятых единицах. Физическую величину, выбранную для измерения, называют *измеряемой величиной*. *Средство измерения* (СИ) – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики (рисунок 1.2).

Влияющая физическая величина (ВФВ) – физическая величина, не являющаяся измеряемой данным СИ, но оказывающая влияние на результат

измерения этим средством (температура окружающей среды, влажность воздуха, электромагнитное поле, вибрации и т. д.)

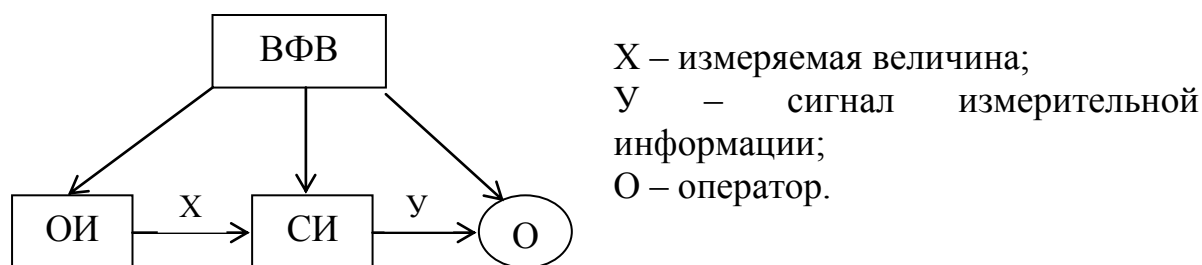


Рисунок 1.2 - Схема процесса измерения

Еще великий математик Л.Эйлер утверждал: «Невозможно определить или измерить одну величину иначе, как, приняв в качестве известной, другую величину этого же рода и указав соотношение, в котором они находятся».

Чтобы составить представление о выполненном или предполагаемом измерении, необходимо знать его основные характеристики (принцип измерения, метод измерения и погрешность (иногда точность) измерения).

Принцип измерения – совокупность физических явлений, на которых основано измерение.

Метод измерения – совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Несовершенство изготовления СИ, неточность их градуировки, действие ВФВ, субъективной ошибки человека и ряд других факторов являются причинами, обуславливающими неизбежное появление погрешности измерения.

Погрешность измерения – отклонение результата измерения $X_{изм}$ от действительного (истинного) значения $X_{дейст}$ измеряемой величины:

$$\Delta = X_{изм} - X_{дейст}. \quad (1.2)$$

Точность измерений характеризует степень приближения погрешности измерений к нулю, то есть приближения, полученного при измерении значения к истинному значению измеряемой величины.

Количественно точность может быть выражена:

$$\varepsilon = \left| \frac{X_{ист}}{\Delta} \right|. \quad (1.3)$$

При определении погрешностей и точности вместо истинного значения физической величины $X_{ист}$ реально может быть использовано ее действительное значение $X_{дейст}$.

1.5.2 Классификация измерений.

Измерения, как экспериментальные процедуры, весьма разнообразны и классифицируются по разным признакам.

Классификация измерений приведена на рисунке 1.3.

По зависимости измеряемой величины от времени различают *статические* и *динамические* измерения. Любое средство измерений, как материальная система, обладает инерцией (механической, тепловой, электрической) и, следовательно, не может мгновенно реагировать на изменение измеряемой величины. Поэтому при измерении переменной во времени физической величины инерция средства измерения приведет к некоторому отставанию показаний средства измерения от истинного значения величины в каждый момент времени. Очевидно, что это отставание будет зависеть не только от инерционных (динамических) свойств средств измерений, но и от скорости изменения самой измеряемой величины. В том случае, когда показания средства измерения не зависят от его динамических свойств или когда этой зависимостью можно пренебречь, говорят, что средство измерения работает в статическом режиме, а само измерение называют статическим. В противном случае измерение относят к динамическим.



Рисунок 1.3 – Классификация измерений

По совокупности измеряемых величин измерения различаются в зависимости от вида измеряемых величин. Так, *электрические измерения* – это измерения таких величин, как напряжение, ток, мощность и т.п. *Механические измерения* – это измерения таких величин, как предел текучести, допускаемый запас прочности стали, осевая нагрузка и т.п. *Теплотехнические измерения* – это измерения температуры, давления, расхода

вещества, уровня, физико-химических свойств веществ (плотность, вязкость и прочее) и другие.

В зависимости от назначения и от предъявляемой к ним точности измерения подразделяются на *измерения максимально возможной точности, лабораторные (точные) и технические измерения.*

Измерения максимально возможной точности проводятся при поверке высокоточных эталонов.

Лабораторные (точные) измерения - это такие измерения, которые, как правило, выполняются многократно повторяемыми и с помощью средств измерений повышенной точности.

Технические измерения – это измерения, выполняемые однократно с помощью рабочих (технических) средств измерений, градуированных в соответствующих единицах.

Значение физической величины может быть найдено посредством однократного ее измерения, либо путем нескольких, следующих друг за другом измерений с последующей статистической обработкой их результатов. В первом случае измерения называют *однократными (обыкновенными)* или *простыми*, во втором - *измерениями с многократными наблюдениями* или *статистическими*. При этом под наблюдением понимают однократный отсчет показания средства измерений.

По пятому классификационному признаку – по способу получения результата измерения – различают следующие виды измерений.

Прямые измерения - измерения, при которых искомое значение величины находится непосредственно из опытных данных $Y = X$, где Y – искомое значение, X – непосредственно полученное из опытных данных. Это измерения при помощи приборов, градуированных в установленных единицах.

П р и м е р - Измерение тока амперметром, температура – термометром.

Косвенные измерения – измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям:

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

где x_m – определяют в ходе прямых измерений.

Другими словами, искомое значение физической величины рассчитывают по формуле, а значения величин, входящих в формулу, получают измерениями

П р и м е р - Измерение мощности, рассеиваемой на сопротивлении, может быть выполнено расчетом по формуле $P = I^2 R$ на основании измерения тока I и сопротивления резистора R ; измерение плотности - по массе и объему тела; измерение сопротивления - по напряжению и току и т. д.

Совокупные измерения – производимые одновременно измерения нескольких одноименных величин, при которых искомые значения величин

дифференциальный метод, метод противопоставления, метод замещения и метод совпадений.

В зависимости от наличия или отсутствия при сравнении разности между измеряемой величиной и величиной, воспроизводимой мерой, различают нулевой и дифференциальный.

Нулевой метод (или метод полного уравнивания) – это МСМ, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и встречного воздействия меры на сравнивающее устройство сводят к нулю.

П р и м е р - Взвешивание груза на равноплечих весах, когда масса груза определяется массой гирь, уравнивающих груз.

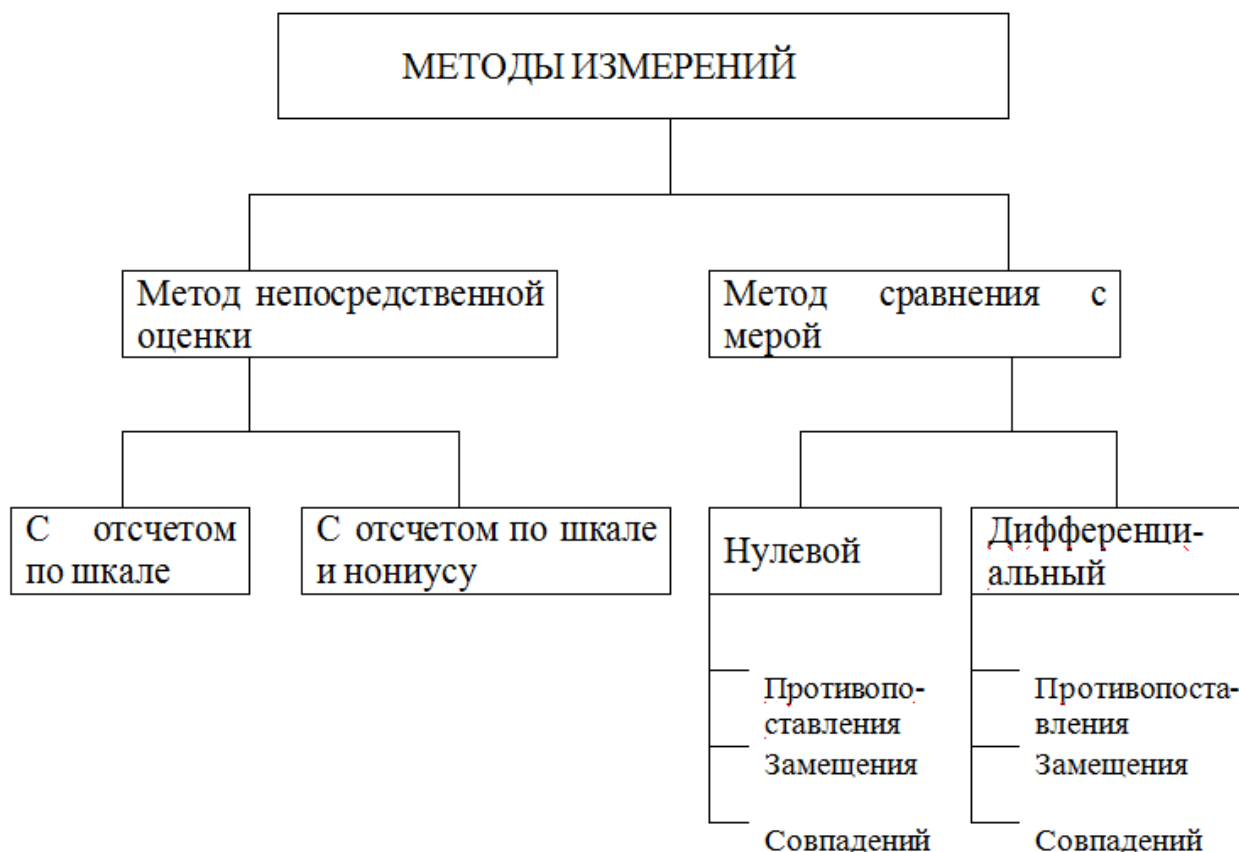


Рисунок 1.4 – Классификация методов измерений

Дифференциальный метод – это МСМ, в котором на измерительный прибор воздействует *разность* между измеряемой величиной и известной, воспроизводимой мерой. Измеряется разность:

П р и м е р - Измерение массы на равноплечих весах, когда воздействие массы t , на весы частично уравнивается массой гирь t_0 , а разность масс отсчитывается по шкале весов, градуированной в единицах массы. В этом случае значение измеряемой величины $t_x = t_0 + \Delta t$, где Δt - показания весов.

а) *метод противопоставления* – МСМ, в котором измеренная величина и величина, воспроизводимая мерой, *одновременно воздействуют на прибор сравнения*, с помощью которого устраняется соотношение между этими величинами;

б) *метод замещения* - МСМ, в котором *измеренную величину замещают известной величиной*, воспроизводимой мерой.

П р и м е р - Взвешивание на пружинных весах. Измерение производят в два приема. Вначале на чашу весов помещают взвешиваемую массу и отмечают положение указателя весов; затем массу m_x , замещают массой гирь m_0 , подбирая ее так, чтобы указатель весов установился точно в том же положении, что и в первом случае. При этом ясно, что $m_x = m_0$;

в) *метод совпадений* – МСМ, в котором разность между измеренной величиной и величиной, воспроизводимой мерой, *измеряют, используя совпадение отметок шкал* или периодических сигналов.

П р и м е р - Измерение числа оборотов вала с помощью стробоскопа: вал периодически освещается вспышками света, и частоту вспышек подбирают так, чтобы метка, нанесенная на вал, казалась наблюдателю неподвижной.

Дифференциальный метод возможен только при наличии высокоточной меры, близкой по значению к измеряемой величине.

1.6 Контрольные вопросы

- 1.6.1 Что такое метрология?
- 1.6.2 Виды современной метрологии.
- 1.6.3 Определение физической величины.
- 1.6.4 Определение размера физической величины.
- 1.6.5 Определение системы единиц физической величины.
- 1.6.6 История развития систем единиц физической величины.
- 1.6.7 Международная система единиц физической величины СИ.
- 1.6.8 Какие основные и производные единицы физической величины входят в международную систему СИ?
- 1.6.9 Как образуется наименование производных единиц СИ?
- 1.6.10 Сформулируйте понятие «измерение», принятое в метрологии.
- 1.6.11 В чем заключается цель измерений?
- 1.6.12 Основное уравнение измерений.
- 1.6.13 Элементы структурной схемы процесса измерений.
- 1.6.14 Дать определения принципа, метода, погрешности и точности измерений.
- 1.6.15 Классификация измерений.
- 1.6.16 Виды измерений по способу получения результата измерения.
- 1.6.17 Классификация методов измерений.
- 1.6.18 Какой классификационный признак является основным при определении метода измерений?

2 Погрешности измерений

2.1 Классификация погрешностей измерений

В зависимости от причин возникновения, характера изменений и условий проявления различают погрешности измерений, классификация которых представлена на рисунке 2.1 [16].



Рисунок 2.1 - Классификация погрешностей измерений

В зависимости от *характера их проявления* различают погрешности случайные и систематические.

Случайные погрешности – погрешности, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Значение и знак случайной погрешности определить невозможно. Для учета случайной погрешности проводят многократные (статистические) измерения. Оценивая случайную погрешность, говорят об *ожидаемой погрешности*. *Грубая погрешность* – это случайная погрешность, существенно превышающая ожидаемую погрешность при данных условиях. *Промах* – погрешность, которая явно искажает результат измерения. За промах принимают случайную субъективную погрешность экспериментатора. Грубые погрешности и промахи обычно исключаются из экспериментальных данных до начала статистической обработки результатов наблюдений.

Систематическая погрешность – погрешность измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Если систематическая погрешность известна, т.е. имеет определенное значение и знак, то она может быть исключена путем внесения поправки по окончании измерения. Если известна причина (источник) систематической погрешности, то ее необходимо устранить до начала измерения.

По причине возникновения систематические погрешности подразделяются на: погрешность метода измерений, инструментальную погрешность, погрешность установки, субъективную погрешность и методическую погрешность.

Погрешность метода измерений (теоретическая погрешность) – это погрешность несовершенства метода измерений. В основном это несовершенство принципа измерения, недостаточная изученность явления, положенного в основу измерения. *Инструментальная погрешность* (погрешность инструмента) – это погрешность, зависящая от погрешностей применяемых средств измерений (несовершенство конструкции, технологии изготовления средства измерения, постепенный их износ и старение материалов). *Погрешность установки* – погрешность, обусловленная неправильной установкой средства измерения. *Методическая погрешность* – погрешность, обусловленная методикой измерения величины и не зависит от точности применяемых средств измерений. *Субъективная погрешность* – погрешность, обусловленная индивидуальными особенностями наблюдателя.

По характеру проявления систематические погрешности подразделяются на постоянные и переменные.

Постоянные систематические погрешности не изменяют своего значения при повторных измерениях.

П р и м е р - Неправильная градуировка средства измерения, неправильная установка начала отсчета и т.п.

Переменные систематические погрешности при повторных измерениях принимают различные значения в соответствии с известными закономерностями. Если погрешность возрастает или убывает при повторных измерениях, то это *прогрессивная* систематическая погрешность.

Периодическая систематическая погрешность может меняться по периодическому или сложному закону. Причины появления периодической систематической погрешности – действие внешних факторов и особенности конструкций средств измерения.

Результат измерения всегда содержит систематическую (θ) и случайную (ψ) погрешности:

$$\Delta = \theta + \psi . \quad (2.1)$$

Поэтому в общем случае погрешность результата измерения (Δ) нужно рассматривать как случайную величину, тогда систематическая погрешность

есть МО этой величины, а случайная погрешность – центрированная случайная величина.

2.2 Случайные погрешности. Вероятностное описание результатов и погрешностей измерений

О природе случайных погрешностей, их источниках и путях возникновения известно мало, можно лишь сказать, что существует много причин, вызывающих появление этих погрешностей. Каждая из них незаметно воздействует на результат измерения, но суммарное их воздействие может вызвать заметные погрешности. В каждый момент времени эти причины проявляют себя по-разному, без закономерной связи между собой, независимо друг от друга. Как следствие, заметные погрешности появляются без закономерной связи с предыдущими и последующими погрешностями.

Когда при проведении с одинаковой тщательностью и в одинаковых условиях повторных наблюдений одной и той же постоянной величины получаем результаты, отличающиеся друг от друга, это свидетельствует о наличии в них случайных погрешностей. Можно лишь с определенной долей уверенности утверждать, что истинное значение измеряемой величины находится в пределах разброса результатов наблюдений от X_{\min} до X_{\max} , где X_{\min} , X_{\max} – соответственно, нижняя и верхняя границы разброса. Однако остается неясным, какова вероятность появления того или иного значения погрешности, какое из множества лежащих в этой области значений величины принять за результат измерения и какими показателями охарактеризовать случайную погрешность результата. Для ответа на эти вопросы требуется принципиально иной, чем при анализе систематических погрешностей, подход. Подход этот основывается на рассмотрении результатов наблюдений, результатов измерений и случайных погрешностей как случайных величин. Методы теории вероятностей и математической статистики позволяют установить вероятностные (статистические) закономерности появления случайных погрешностей и на основании этих закономерностей дать количественные оценки результата измерения и его случайной погрешности.

Точные измерения должны проводиться так, чтобы не было систематических погрешностей. Теория случайных погрешностей базируется на двух аксиомах, основывающихся на опытных данных [14].

Аксиома случайности: при очень большом числе измерений случайные погрешности, равные по величине, но разные по знаку, встречаются одинаково часто: число отрицательных погрешностей равно числу положительных.

Аксиома распределения: малые погрешности случаются чаще, чем большие; очень большие погрешности не встречаются.

Закон распределения случайной величины дает полную информацию о свойствах случайной величины и позволяет ответить на поставленные

вопросы о результате измерения и его случайной погрешности. Если известен дифференциальный закон распределения случайной величины $f(x)$, то вероятность P ее попадания в интервал от x_1 до x_2 :

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

Графически эта вероятность выражается отношением площади, лежащей под кривой $f(x)$ в интервале от x_1 до x_2 к общей площади, ограниченной кривой распределения.

Существуют различные законы распределения случайной величины: равномерный, трапецеидальный, треугольный (Симпсона), экспоненциальные (Лапласа, нормальный Гаусса), семейство распределений Стьюдента, двухмодальные распределения. Установлено [11], что примерно 50% фактических распределений случайных погрешностей принадлежат к классу экспоненциальных, 30% - являются композицией равномерного и какого-либо экспоненциального распределения, 20% - различными видами двухмодальных распределений.

В практике измерений чаще всего имеют дело с нормальным и равномерным распределениями плотности вероятностей.

Учитывая многовариантность подходов к выбору оценок и в целях обеспечения единства измерений, правила обработки результатов наблюдений обычно регламентируются нормативно-техническими документами (стандартами, методическими указаниями, инструкциями). Так, в стандарте на методы обработки результатов прямых измерений с многократными наблюдениями указывается, что приведенные в нем методы обработки установлены для результатов наблюдений, принадлежащих нормальному распределению.

Нормальное распределение (распределение Гаусса). Нормальное распределение плотности вероятности (рисунок 2.2) характерно тем, что, согласно центральной предельной теореме теории вероятностей, такое распределение имеет сумма бесконечно большого числа бесконечно малых случайных возмущении с любыми распределениями.

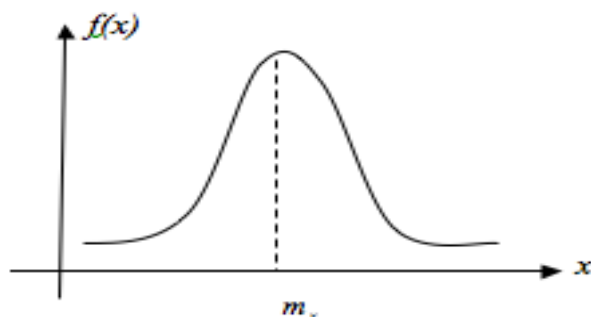


Рисунок 2.2 - Кривая нормального распределения

Применительно к измерениям это означает, что нормальное распределение случайных погрешностей возникает тогда, когда на результат

измерения действует множество случайных возмущений, ни одно из которых не является преобладающим. Практически, суммарное воздействие даже сравнительно небольшого числа возмущений приводит к закону распределения результатов и погрешностей измерений, близкому к нормальному.

В аналитической форме нормальный закон распределения выражается формулой:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x - m_x)^2}{2\sigma^2}\right], \quad (2.2)$$

где x - случайная величина;

m_x - математическое ожидание случайной величины;

σ - среднее квадратическое отклонение.

Перенеся начало координат в центр распределения m и откладывая по оси абсцисс погрешность $\Delta x = x - m_x$, получим кривую нормального распределения погрешностей:

$$f(\Delta x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\Delta x^2}{2\sigma^2}\right]. \quad (2.3)$$

Обратим внимание на несколько свойств нормального распределения погрешностей.

Кривая нормального распределения погрешностей симметрична относительно оси ординат. Это означает, что погрешности, одинаковые по величине, но противоположные по знаку, имеют одинаковую плотность вероятностей, т.е. при большом числе наблюдений встречаются одинаково часто (аксиома случайности). Математическое ожидание случайной погрешности равно нулю.

Из характера кривой следует, что при нормальном законе распределения малые погрешности будут встречаться чаще, чем большие (аксиома распределения).

На рисунке 2.3 изображены кривые нормального распределения с различными средними квадратическими отклонениями, причем $\sigma_1 > \sigma_2$.

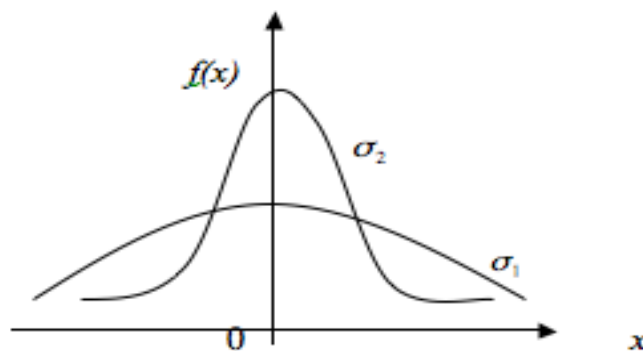


Рисунок 2.3 - Рассеяние результатов наблюдений

Сравнивая кривые между собой можно убедиться, что чем меньше СКО, тем меньше рассеяние результатов наблюдений и тем больше вероятность того, что большинство случайных погрешностей в них будет мало. Естественно заключить, что качество измерений тем выше, чем меньше СКО случайных погрешностей.

Равномерное распределение. Если случайная величина x принимает значения лишь в пределах некоторого конечного интервала от x_1 до x_2 с постоянной плотностью вероятностей (рисунок 2.4), то такое распределение называется равномерным.

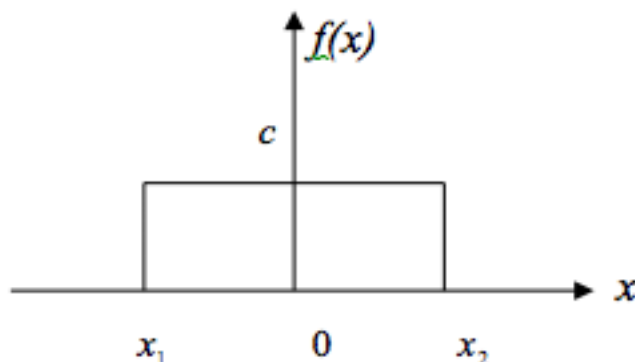


Рисунок 2.4 – График равномерного закона распределения

Равномерное распределение описывается соотношениями:

$$\begin{cases} f(x) = c, & \text{при } x_1 \leq x \leq x_2; \\ f(x) = 0, & \text{при } x < x_1 \text{ и } x > x_2. \end{cases} \quad (2.4)$$

Так как площадь, ограниченная кривой распределения равна единице, то

$$\begin{aligned} c(x_2 - x_1) &= 1, \\ c &= \frac{1}{(x_2 - x_1)}. \end{aligned} \quad (2.5)$$

С учетом (2.5) плотность равномерного распределения равна:

$$\begin{cases} f(x) = \frac{1}{(x_2 - x_1)}, & \text{при } x_1 \leq x \leq x_2; \\ f(x) = 0, & \text{при } x < x_1 \text{ и } x > x_2. \end{cases} \quad (2.6)$$

В пределах некоторых границ значения измеряемой величины могут быть различными, но равновероятными.

Другие законы распределения приведены в ГОСТ 8.011 – 72 «Показатели точности измерений и формы представления результатов измерений».

2.3 Основные характеристики законов распределения

Для описания частных свойств случайной величины используют числовые характеристики распределений. В качестве числовых характеристик

выступают *моменты случайных величин: начальные и центральные*. Все они представляют собой некоторые средние значения; причем, если усредняются величины, отсчитываемые от начала координат, моменты называются начальными, а если от центра закона распределения – то центральными.

Кроме непрерывных случайных величин, в метрологической практике встречаются и дискретные случайные величины.

Начальный момент k -го порядка определяется формулами:

$$m_k = \int_{-\infty}^{+\infty} x^k f(x) dx; \quad (2.7)$$

$$m_k = \sum_{i=1}^n x_i^k p_i, \quad (2.8)$$

где p_i - вероятность появления дискретной величины.

Здесь и ниже формула (2.7) относится к непрерывным, а формула (2.8) - к дискретным случайным величинам.

Из начальных моментов наибольший интерес представляет *математическое ожидание* случайной величины ($k = 1$):

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

$$m_1 = \sum_{i=1}^n x_i p_i .$$

Математическое ожидание ряда наблюдений (МО) – величина, относительно которой рассеиваются результаты отдельных наблюдений.

Если систематические погрешности отсутствуют и разброс результатов отдельных измерений обусловлен только случайными погрешностями, то математическое ожидание такого ряда наблюдений будет истинное значение измеряемой величины.

Если $\Delta = \theta + \psi$ (формула 2.1), то математическое ожидание такого ряда наблюдений будет смещено от истинного значения измеряемой величины на значение систематической погрешности.

Центральные моменты k -го порядка рассчитываются по формулам:

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

$$\mu_k = \sum_{i=1}^n (x_i - m_1)^k p_i .$$

Из центральных моментов особенно важную роль играет второй момент ($k=2$), *дисперсия* случайной величины D :

$$D = \int_{-\infty}^{+\infty} (x - m_1)^2 f(x) dx; \quad D = \sum_{i=1}^n (x_i - m_1)^2 p_i .$$

Дисперсия случайной величины характеризует рассеяние отдельных ее значений вокруг математического ожидания. Чем меньше дисперсия, тем меньше разброс отдельных результатов, тем точнее выполнены измерения. Таким образом, дисперсия может служить характеристикой точности проведенных измерений.

Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины и выражает как бы мощность рассеяния относительно постоянной составляющей.

Однако чаще пользуются положительным корнем квадратным из дисперсии - *средним квадратическим отклонением* (СКО), которое имеет размерность самой случайной величины.

2.4 Оценки основных характеристик ряда наблюдений

Из теории вероятности известно, что оценкой математического ожидания является *среднее арифметическое* результатов отдельных наблюдений - \bar{X} :

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.9)$$

где x_i - i -й результат наблюдения;

n - число результатов наблюдений.

Оценка дисперсии ряда наблюдений S^2 рассчитывается по формуле:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2. \quad (2.10)$$

Среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений S является основной характеристикой размера случайных погрешностей результатов наблюдений. Формула для расчета *оценки среднего квадратического отклонения*:

$$\sigma = \pm \sqrt{S^2}, \quad (2.11)$$

при $n \rightarrow \infty$ (практически при $n > 30$), $S^2 \rightarrow D$, $\sigma \rightarrow S$.

2.5 Вероятностные оценки погрешности результата измерений

Цель обработки результатов наблюдений – это установление действительного значения измеряемой величины, которое может быть принято вместо истинного значения измеряемой величины, и степени близости действительного значения к истинному.

Действительное значение неизбежно содержит случайную погрешность. Для количественной оценки случайных погрешностей и установления границ случайной погрешности результата измерения могут использоваться: *предельная погрешность, интервальная оценка, числовые характеристики закона распределения*. Выбор конкретной оценки определяется необходимой

полнотой сведений о погрешности, назначением измерений и характером использования их результатов. Комплексы оценок показателей точности установлены стандартами.

Предельная погрешность Δm - погрешность, больше которой в данном измерительном эксперименте не может появиться. Теоретически такая оценка погрешности правомерна только для распределений, границы которых четко выражены и существует такое значение $\pm \Delta_m$, которое ограничивает возможные значения случайных погрешностей с обеих сторон от центра распределения (например, равномерное).

На практике такая оценка есть указание наибольшей погрешности, которая может встретиться при многократных измерениях одной и той же величины.

Недостатком такой оценки является то, что она не содержит информации о характере закона распределения случайных погрешностей. При арифметическом суммировании предельных погрешностей получаемая сумма может значительно превышать действительные погрешности.

Более универсальными и информативными являются *квантильные (интервальные) оценки* (рисунок 2.5). Площадь, заключенная под всей кривой плотности распределения погрешностей, отражает вероятность всех возможных значений погрешности и по условиям нормирования равна единице. Эту площадь можно разделить вертикальными линиями на части. Абсциссы таких линий называются квантилями.

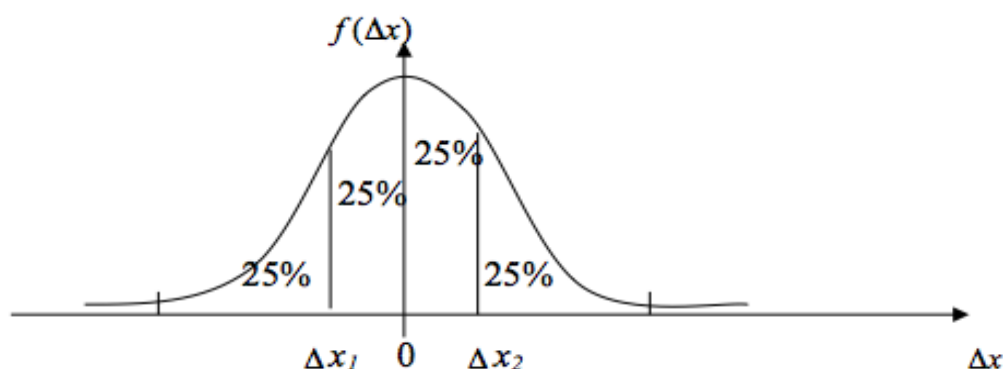


Рисунок 2.5 - Квантильные оценки случайной величины

Так, на рисунке 2.5 Δx_1 есть 25 %-ная квантиль, так как площадь под кривой $f(\Delta x)$ слева от нее составляет 25% всей площади. Абсцисса Δx_2 соответствует 75 %-ной квантили. Между Δx_1 и Δx_2 заключено 50% всех возможных значений погрешности, а остальные лежат вне этого интервала.

Квантильная оценка погрешности представляется интервалом от $-\Delta x$ до $+\Delta x$, на котором с заданной вероятностью P встречаются $P \cdot 100\%$ всех возможных значений случайной погрешности. Интервал с границами $\pm \Delta x$ называется *доверительным интервалом* случайной погрешности, а соответствующая ему вероятность - *доверительной вероятностью*. Принято границы доверительного интервала (доверительные границы) указывать

симметричными относительно результата измерения.

Так как квантили, ограничивающие доверительный интервал погрешности могут быть выбраны различными, то при оценивании случайной погрешности доверительными границами необходимо одновременно указывать значение принятой доверительной вероятности (например, $\pm 0,3\sigma$ при $P = 0,95$).

Доверительные границы случайной погрешности Δx , соответствующие доверительной вероятности P , находят по формуле:

$$\Delta x = k\sigma, \quad (2.12)$$

где k – квантильный множитель – коэффициент, зависящий от доверительной вероятности и формы закона распределения.

На графике нормального распределения погрешностей (рисунок 2.6) по оси абсцисс отложены интервалы с границами $\pm \sigma$, $\pm 2\sigma$, $\pm 3\sigma$, $\pm 4\sigma$. Доверительные вероятности для этих интервалов приведены в таблице 2.1.

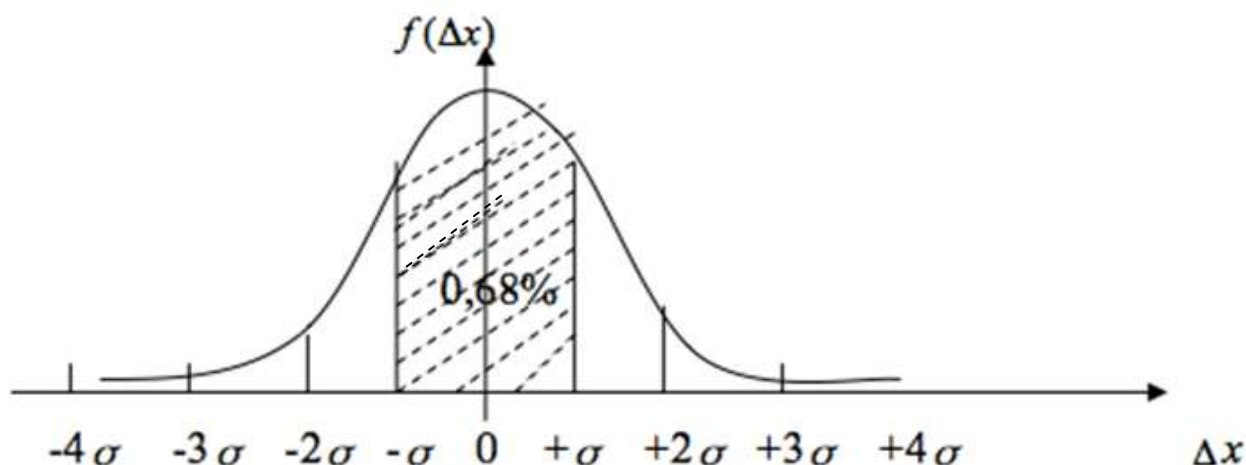


Рисунок 2.6 - К понятию доверительных интервалов

Таблица 2.1 – Величины доверительных интервалов

Доверительный интервал	Доверительная вероятность P
$\pm \sigma$	0,68
$\pm 2\sigma$	0,95
$\pm 3\sigma$	0,997
$\pm 4\sigma$	0,999

Как видно из этой таблицы 2.1, оценка случайной погрешности группы наблюдений интервалом $\pm 1\sigma$ соответствует доверительной вероятности 0,68. Такая оценка не дает уверенности в высоком качестве измерений, поскольку 32% от всего числа наблюдений может выйти за пределы указанного интервала, что совершенно неприемлемо при однократных измерениях и

дезинформирует потребителя измерительной информации. Доверительному интервалу $\pm 3\sigma$ соответствует $P = 0,997$.

Это означает, что практически с вероятностью очень близкой к единице ни одно из возможных значений погрешности при нормальном законе ее распределения не выйдет за границы интервала. Поэтому при нормальном распределении погрешностей, принято считать случайную погрешность с границами $\pm 3\sigma$ предельной (максимально возможной) погрешностью. Погрешности, выходящие за эти границы, классифицируют как *грубые или промахи*.

В целях единообразия в оценивании случайных погрешностей интервальными оценками при технических измерениях доверительная вероятность принимается равной 0,95. Лишь для особо точных и ответственных измерений (важных, например, для безопасности и здоровья людей) допускается применять более высокую доверительную вероятность.

Недостатком оценивания случайной погрешности доверительным интервалом при произвольно выбираемых доверительных вероятностях является невозможность суммирования нескольких погрешностей, так как доверительный интервал суммы не равен сумме доверительных интервалов. В то же время необходимость в суммировании случайных погрешностей существует, когда нужно оценить погрешность суммированием ее составляющих, подчиняющихся к тому же разным законам распределения. В теории вероятностей показано, что суммирование статистически независимых случайных величин осуществляется путем суммирования их дисперсией:

$$D_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n D_i$$

или

$$\sigma_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2} . \quad (2.13)$$

Таким образом, для того чтобы отдельные составляющие случайной погрешности можно было суммировать расчетным путем, они должны быть представлены своими СКО, а не предельными или доверительными границами.

Формула (2.13) правомерна только для некоррелированных случайных величин. В том случае, когда суммируемые составляющие погрешности коррелированы, расчетные соотношения усложняются, так как требуется учет корреляционных связей. Методы выявления корреляционных связей и их учет являются предметом изучения в теории вероятностей.

Конечная цель анализа выполненных измерений состоит в определении *погрешности результата наблюдения* ряда значений измеряемой величины X_1, \dots, X_n , *погрешности их среднего арифметического значения*, принимаемого за окончательный результат измерения, и их доверительной вероятности.

2.6 Оценка погрешности (точности) результата наблюдения

Оценкой точности результата наблюдения служит среднее квадратическое отклонение результата наблюдения - σ . Для получения полного представления о точности и надежности оценки случайного отклонения результата наблюдения должны быть указаны доверительные границы, доверительный интервал и доверительная вероятность. При известном σ доверительные границы случайной погрешности указываются следующим образом: нижняя граница ($-\sigma$), верхняя граница ($+\sigma$) (сокращенно $\pm\sigma$), за пределы которых с вероятностью $P=0,683$ (или 68,3%) не выйдут значения случайных отклонений результатов наблюдений ($x_i - \bar{X}$).

Доверительный интервал результата наблюдений выражается в виде $I_p = (\bar{X} - \sigma; \bar{X} + \sigma)$. В зависимости от целей измерения могут задаваться и другие доверительные границы погрешности результата наблюдений $\Delta = \pm k\sigma$, тогда доверительный интервал результата наблюдений:

$$I_p = (\bar{X} - k\sigma; \bar{X} + k\sigma), \quad (2.14)$$

где σ - среднее квадратическое отклонение результата наблюдения;
 k - квантильный множитель, значение которого зависит от выбранного закона распределения случайной погрешности.

Так для равномерного закона распределения $k = \sqrt{3}$ и не зависит от доверительной вероятности. Для нормального закона распределения k зависит от значения доверительной вероятности (P) и количества выборочных значений (n): значения $k = Z_p$ при $n > 30$; $k = t_p$ при $n < 30$ (закон Стьюдента). Значения k для наиболее употребительных доверительных вероятностей P и различных n приведены в [15].

2.7 Оценка погрешности (точности) результата измерения

Результат измерения принимается равным среднему арифметическому значению \bar{X} . Согласно теории погрешностей, оценка среднего квадратического отклонения результата измерения σ_x в \sqrt{n} раз меньше оценки среднего квадратического отклонения результата наблюдений:

$$\sigma_x = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (2.15)$$

Доверительный интервал результата измерений:

$$I_p = (\bar{X} - k\sigma_x; \bar{X} + k\sigma_x), \quad (2.16)$$

где k - имеет тот же смысл, что в формуле (2.12);

$\sigma_{\bar{X}}$ - среднее квадратическое отклонение результата измерения.

Рассмотренные свойства распределений следует понимать как «идеальные», полученные на основе бесконечно большого числа опытов. В реальных условиях результат измерения получают либо путем обработки ограниченной группы наблюдений, либо на основе однократного измерения. Правила обработки данных для получения оценок результата и погрешности статистических измерений определены стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений.

2.8 Систематические погрешности. Обнаружение и исключение

Источниками систематических составляющих погрешности измерения могут быть все его компоненты: метод измерения, средства измерения и экспериментатор. Оценивание систематических составляющих представляет достаточно трудную метрологическую задачу. Важность ее определяется тем, что знание систематической погрешности позволяет внести соответствующую поправку в результат измерения и тем самым повысить его точность. Трудность же заключается в сложности обнаружения систематической погрешности, поскольку она не может быть выявлена путем повторных измерений (наблюдений). В самом деле, будучи постоянной по величине для данной группы наблюдений, систематическая погрешность никак визуально не проявится при повторных измерениях одной и той же величины, и, следовательно, экспериментатор затруднится ответить на вопрос - имеется ли систематическая погрешность в наблюдаемых результатах. Таким образом, проблема обнаружения систематических погрешностей едва ли не главная в борьбе с ними,

Постоянные инструментальные систематические погрешности обычно выявляют посредством *поверки средства измерения*. Поверкой называют определение метрологическим органом погрешностей средства измерения и установление пригодности средства измерения к применению. Поверка производится путем сравнения показаний поверяемого прибора с показаниями более точного (образцового) средства измерения. Если на поверяемой отметке шкалы показания поверяемого прибора - $x_{нов}$, а образцового - $x_{обр}$, то погрешность поверяемого прибора на этой отметке равна:

$$\Delta x_{нов} = x_{нов} - x_{обр} \quad . \quad (2.17)$$

Поверка средств измерения производится в соответствии с требованиями, устанавливаемыми в нормативно-технической документации, а ее результаты указываются в свидетельстве о поверке или в паспорте прибора. Обнаруженные таким образом систематические погрешности исключаются из результата измерения путем введения поправки. Из (2.17) следует, что истинное значение величины ($x_{обр}$) равно:

$$x_{обр} = x_{нов} - \Delta x_{нов} \quad ,$$

т.е. поправка ($-\Delta x_{нов}$) представляет собой погрешность, взятую с противоположным знаком.

П р и м е р - При измерении напряжения в сети показания вольтметра 225 В. В свидетельстве о поверке указано, что на этой отметке шкалы систематическая погрешность вольтметра равна +3 В. С учетом поправки напряжение в сети равно $225 - 3 = 222$ В.

Для обнаружения изменяющейся систематической погрешности рекомендуется построить график, на котором нанесены результаты наблюдений в той последовательности, в какой они были получены. Общая картина расположения полученных точек позволяет обнаружить наличие закономерного изменения результатов наблюдений и сделать вывод о присутствии в них систематической погрешности. Простейшим, но частым случаем погрешности, изменяющейся по определенному закону, является погрешность, прогрессирующая по линейному закону, например, пропорционально времени. Такие погрешности могут быть оценены и исключены следующим образом. Если известно, что при измерении постоянной величины X_0 (из физических соображений, например) систематическая погрешность изменяется линейно во времени, т.е. $X_{изм} = X_0 + Ct$ (где $C = \text{const}$), то для ее исключения достаточно сделать два наблюдения X_1 и X_2 с фиксацией времени t_1 и t_2 (рисунок 2.7).

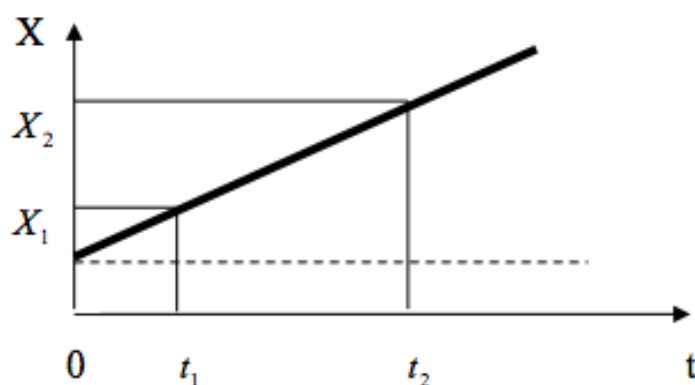


Рисунок 2.7 - Линейное изменение систематической погрешности

Тогда искомое значение величины будет:

$$X_0 = \frac{X_1 t_2 - X_2 t_1}{t_2 - t_1}. \quad (2.18)$$

Однако, предполагая, что изменение систематической погрешности происходит по линейному закону, не всегда можно быть полностью уверенным, что это именно так. В этом случае для контроля систематической погрешности применяют метод симметричных наблюдений. Несколько наблюдений выполняют через равные промежутки времени и затем вычисляют средние арифметические симметрично расположенных отсчетов?

Например, $\frac{x_1 + x_5}{2}$ и $\frac{x_2 + x_4}{2}$.

Теоретически при линейной зависимости погрешности от времени, эти средние арифметические должны быть равны - это и дает возможность контролировать ход изменения погрешности. Убедившись, что погрешность

изменяется по линейному закону, по формуле (2.18) находят результат измерения.

Систематические составляющие, обусловленные несовершенством методов измерения, ограниченной точностью расчетных формул, положенных в основу измерений, влиянием средств измерений на объект, свойства которого измеряются, относятся к *методическим погрешностям*. Единых рекомендаций по обнаружению и оцениванию методических составляющих систематической погрешности нет. Поэтому задача решается в каждом конкретном случае индивидуально, на основе анализа примененного метода измерений, результаты которого часто зависят от квалификации и опыта экспериментатора.

П р и м е р - Оценим систематическую погрешность измерения напряжения U_x источника, обусловленную наличием внутреннего сопротивления вольтметра (рисунок 2.8). Внутреннее сопротивление источника напряжения $R_i = 50$ Ом; сопротивление вольтметра $R_v = 5$ кОм; показание вольтметра $U_{изм} = 12,2$ В.

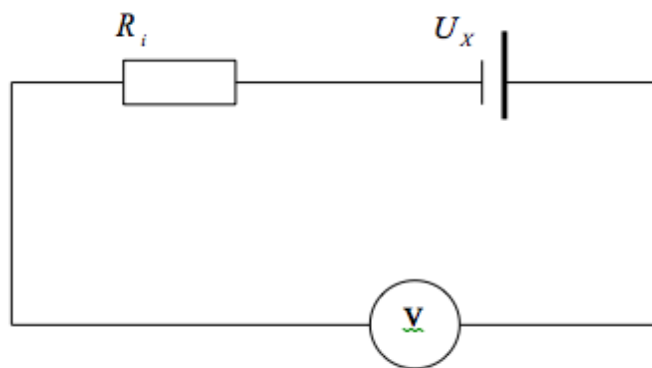


Рисунок 2.8 - Измерение напряжения источника вольтметром

Здесь $U_{изм} = \frac{R_v}{R_v + R_i} U_x$ и относительная систематическая погрешность, определяемая как $\frac{\Delta_c}{U_x} = \frac{U_{изм} - U_x}{U_x} 100 = -\frac{R_i}{R_i + R_v} 100$, составит 0,99%.

Это достаточно ощутимая погрешность, и ее следует учесть введением поправки. Поправка C равна погрешности, взятой с обратным знаком, или в единицах измеряемой величины:

$$C = 0,99 \cdot 10^{-2} \cdot 12,2 = +1,2 \text{ В.}$$

Таким образом, напряжение источника будет $12,2 + 1,2 = 13,4$ В.

Отметим, что полученная оценка систематической погрешности, в свою очередь, имеет некоторую погрешность из-за погрешностей в определении R_v и R_i , а также из-за наличия инструментальной погрешности вольтметра. Эта погрешность при введении поправки не исключается и называется *неисключенным остатком систематической погрешности* (неисключенной систематической погрешностью). Вопросы учета неисключенного остатка систематической погрешности будут рассматриваться в следующих разделах.

Субъективные систематические погрешности связаны с индивидуальными особенностями наблюдателя. При проектировании

современных средств измерения принимаются меры к тому, чтобы максимально исключить возможность появления субъективных погрешностей. По-видимому, по этой причине принято считать субъективные погрешности пренебрежимо малыми и при анализе погрешностей не принимать их в расчет. Однако безоговорочно согласиться с таким подходом нельзя. Неточные действия наблюдателя могут привести к запаздыванию или опережению фиксации моментов времени при отсчете показаний, неточности отсчитывания значений измеряемой величины по шкале стрелочного прибора из-за параллакса и др. Поэтому для того чтобы избежать субъективных погрешностей, необходимо точно соблюдать правила эксплуатации средств измерений и иметь навыки работы с измерительной техникой.

2.9 Методы компенсации систематической погрешности

Поправки в результат измерения вносят после выполнения эксперимента. Другой способ уменьшить погрешность измерения – устранение источников погрешности до начала измерений, на этапе их планирования.

Под устранением источника погрешностей следует понимать как непосредственное его удаление (например, удаление источника тепла), так и защиту измерительной аппаратуры и объекта измерений от влияния этого источника.

Источником возмущающих воздействий может служить техническая или метрологическая неисправность отдельного средства измерений. В этом случае погрешность может быть уменьшена путем ремонта, регулировки, настройки прибора и его последующей поверки (калибровки).

Внешние влияющие факторы можно разделить на несколько групп:

- климатические (температура окружающей среды, относительная влажность воздуха, атмосферное давление);
- электрические и магнитные (колебания силы электрического тока, напряжения в электрической цепи, частоты переменного электрического тока, постоянные и переменные магнитные поля и т. д.);
- внешние нагрузки (вибрации, ударные нагрузки, внешние касания деталей приборов);
- ионизирующие излучения, газовый состав атмосферы и т. д.

С целью уменьшения погрешности измерений к условиям их проведения предъявляются жесткие требования. Для конкретных областей измерений устанавливают единые условия, называемые нормальными (таблица 2.2). Значение физической величины, соответствующее нормальным условиям, называют номинальным значением влияющей физической величины. При выполнении измерений поддерживать определенные номинальные значения влияющих величин невозможно, поэтому в нормативных документах для соответствующих величин устанавливаются допустимые отклонения от номинального значения в зависимости от требований к допускаемой погрешности измерений.

Таблица 2.2 - Некоторые номинальные значения влияющих физических величин

Влияющая величина	Номинальное значение влияющей величины
Температура окружающей среды	20 ⁰ С (293 К)
Давление окружающего воздуха	101,3 кПа
Относительная влажность воздуха	65 %
Плотность воздуха	1,2 кг/м ³
Магнитная индукция (напряженность магнитного поля) и напряженность электростатического поля	Соответствует характеристикам поля Земли в данном географическом районе

В качестве мероприятия, предупреждающего появление *температурной погрешности*, широко применяют термостатирование, то есть обеспечение определенной температуры окружающей среды с допускаемыми колебаниями. Термостатируют большие помещения (лаборатории), небольшие помещения (камеры), отдельные средства измерений или их части (меры сопротивления, встроенные стабилизаторы частоты). При больших рабочих объемах осуществляется воздушное термостатирование, при малых объемах - не только воздушное, но и жидкостное, окружая прибор, меру или измеряемый объект водой, маслом или другой жидкостью, которые смягчают колебания температуры и облегчают поддержание ее на постоянном уровне.

Устранение влияния магнитных полей. Напряженность магнитного поля Земли невелика, поэтому опасность заметного его воздействия возникает только для средств измерений, отличающихся повышенной чувствительностью. Средством защиты от влияния магнитного поля Земли и от магнитных полей, образованных постоянными и переменными токами, является экранирование. Экранирование средств измерений, как правило, предусматривается при их конструировании.

Устранение возмущающих вибраций и сотрясений. Эти влияния устраняют амортизацией прибора и его чувствительных блоков и деталей. Для амортизации колебаний в зависимости от их частоты и чувствительности прибора к этим возмущениям используют различного рода поглотители - губчатую резину, эластичные подвесы; обеспечивают развязку по фундаменту еще на стадии строительства лабораторных корпусов, используют стабилизирующие платформы и т. п.

Устранение других видов вредных влияний. Влияние таких факторов, как изменение атмосферного давления, простыми средствами неустранимо. В тех случаях, когда соблюдение определенных требований является обязательным, применяют барокамеры с регулируемым давлением. Обычно в этих камерах можно одновременно регулировать влажность и температуру.

В ряде случаев добиться уменьшения систематических погрешностей до проведения измерительного эксперимента можно выбором более совершенных средств измерений.

Устранение влияния ряда возмущающих факторов в процессе выполнения измерений является эффективным способом исключения систематических погрешностей. Характерной чертой рассматриваемых далее способов исключения систематических погрешностей является необходимость проведения повторных измерений, поэтому они применяются в основном при измерениях стабильных параметров.

В практике измерений применяется несколько методов, позволяющих за счет некоторого усложнения процедуры измерений получить результат измерения свободным от систематической погрешности. К ним относятся *метод замещения, метод противопоставления и метод компенсации погрешности по знаку*.

Метод замещения. Этот метод дает наиболее полное решение задачи компенсации постоянной систематической погрешности и представляет собой разновидность метода сравнения. Сравнение производится путем замены измеряемой величины известной величиной и так, чтобы воздействием известной величины привести средство измерения в то состояние, которое оно имело при воздействии измеряемой величины.

П р и м е р - Взвешивание на пружинных весах, у которых имеется постоянная систематическая погрешность (из-за смещения шкалы, например). Взвешивание производится в два приема. Вначале на чашу весов помещают взвешиваемое тело массой m_x и отмечают положение указателя (на отметке N). Затем взвешиваемое тело замещают гири такой массы m_0 , чтобы вновь добиться прежнего отклонения указателя N. Очевидно, что при одинаковости отклонений указателя $m_x = m_0$ и систематическая погрешность весов не скажется на результате взвешивания.

Метод противопоставления. Рассмотрим данный метод на следующем примере.

Взвешивание на рычажных равноплечих весах. Условие равновесия весов $m_x l_1 = m_0 l_2$, отсюда $m_x = m_0 \frac{l_2}{l_1}$. Если длины плеч l_1 и l_2 одинаковы, то $m_x = m_0$. Если же $l_1 \neq l_2$ (из-за технологического разброса длин плеч при их изготовлении, например), то при взвешивании каждый раз возникает систематическая погрешность:

$$\Delta_c = m_0 \left(\frac{l_2}{l_1} - 1 \right).$$

Для исключения этой погрешности взвешивание производится в два этапа. Сначала взвешивают груз m_x , уравнивая весы гирями массой m_{01} . При этом $m_x l_1 = m_{01} l_2$. Затем взвешиваемый груз перемещают на ту чашу весов, где прежде были гири и вновь уравнивают весы массой m_{02} гирь. Теперь получим $m_{02} l_1 = m_x l_2$. Исключив из равенств отношение $\frac{l_2}{l_1}$, найдем:

$$m_x = \sqrt{m_{01} m_{02}}.$$

Как видно из формулы, длины плеч не входят в окончательный результат взвешивания.

Метод компенсации погрешности по знаку. Этот метод также предусматривает проведение измерения в два этапа, выполняемых так, чтобы постоянная систематическая погрешность входила в показания средства измерения на каждом этапе с разными знаками. За результат измерения принимают среднее арифметическое двух измерений, при этом систематические погрешности взаимно компенсируются.

В алгебраической форме это можно выразить следующим образом:

$$X_1 = X + \theta; \quad X_2 = X - \theta; \quad X = 0.5(X_1 + X_2),$$

где X_1 и X_2 - результаты двух измерений;

θ - систематическая погрешность, природа которой известна, но неизвестно значение;

X - значение измеряемой величины, свободное от данной погрешности.

Второй вариант применения данного метода подразумевает, что систематическая погрешность входит в показания средства измерений с одинаковым знаком, но сам эксперимент ставится таким образом, что меняет знак искомого значения X , оставаясь неизменным по абсолютной величине:

$$X_1 = X + \theta; \quad X_2 = -X + \theta; \quad X = 0.5(X_1 - X_2).$$

При использовании метода компенсации погрешности по знаку исключается влияние люфтов в механических узлах средств измерений, влияние постоянных магнитных полей, паразитных термоЭДС и т. п.

Суммирование систематических погрешностей. Независимо от того, к какому виду относится измерение, является ли оно прямым, косвенным, совместным или совокупным, систематическая погрешность результата измерения оценивается, как правило, по ее известным составляющим. Поскольку в каждом конкретном случае каждая систематическая составляющая получает конкретную реализацию (она либо постоянная, либо известен закон ее изменения), то результирующая, суммарная систематическая погрешность представляет собой алгебраическую сумму составляющих:

$$\Delta_{C\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta_{Ci} . \quad (2.19)$$

Систематические составляющие погрешности, обусловленные несовершенством методов измерения, ограниченной точностью расчетных формул, положенных в основу измерений, влиянием средств измерений на объект, свойства которого исследуются, относятся к методическим погрешностям. Единых рекомендаций по их обнаружению, оцениванию и исключению нет. Задача в каждом конкретном случае решается индивидуально, на основе анализа применяемых методик выполнения

измерений. Результаты такого анализа часто зависят от квалификации и опыта экспериментатора.

Полностью исключить систематические погрешности нельзя, поэтому всегда необходимо оценить погрешность, остающуюся после введения поправок на все известные возмущающие воздействия. Подобные оценки проводятся на основе анализа априорной информации, при этом в подавляющем большинстве случаев оказывается возможным установить границы оставшейся погрешности, но не удастся получить информацию о законе распределения вероятности. В этом случае принимается гипотеза о равномерном распределении вероятности в установленном интервале. Половину интервала составляет θ - неисключенная систематическая погрешность (НСП). Необходимо отметить, что в данном случае закон распределения не может быть получен экспериментально и статистического смысла не имеет.

2.10 Контрольные вопросы

- 2.10.1 Классификация погрешностей измерений.
- 2.10.2 Классификационные признаки, по которым различаются систематические погрешности.
- 2.10.3 Виды систематических погрешностей по причине возникновения.
- 2.10.4 Дать определение грубой погрешности и промаху.
- 2.10.5 Аксиома случайности. Аксиома распределения.
- 2.10.6 Какая характеристика дает полную информацию о свойствах случайной величины?
- 2.10.7 Виды законов распределения случайной величины.
- 2.10.8 Анализ кривой нормального распределения погрешностей.
- 2.10.9 Описание графика равномерного распределения погрешностей.
- 2.10.10 Основные характеристики законов распределения.
- 2.10.11 Оценки основных характеристик ряда наблюдений.
- 2.10.12 Вероятностные оценки погрешности результата измерений.
- 2.10.13 В чем заключается цель обработки результатов наблюдений?
- 2.10.14 Что относится к квантильным (интервальным) оценкам?
- 2.10.15 Дать определение доверительного интервала случайной погрешности.
- 2.10.16 Оценка погрешности (точности) результата наблюдения.
- 2.10.17 Оценка погрешности (точности) результата измерения.
- 2.10.18 Что называется проверкой средства измерения?
- 2.10.19 Что называется неисключенным остатком систематической погрешности (неисключенной систематической погрешностью)?
- 2.10.20 Что называют номинальным значением влияющей физической величины?
- 2.10.21 Дать определения методам замещения, противопоставления и компенсации погрешности по знаку.

3 Обработка результатов измерений

3.1 Статистическая обработка прямых измерений с многократными наблюдениями

В измерительной практике для повышения качества измерений часто обращаются к измерениям с многократными наблюдениями, т.е. к повторению одним и тем же оператором однократных наблюдений в одинаковых условиях с использованием одного и того же средства измерения. В результате соответствующей обработки полученных данных удается уменьшить влияние случайной составляющей погрешности на результат измерений [15].

Рассмотрим группу из n независимых результатов наблюдений случайной величины x , подчиняющейся нормальному распределению. Оценка рассеяния единичных результатов наблюдений в группе σ относительно среднего их значения m_x вычисляется по формуле (2.11).

Поскольку число наблюдений в группе, на основании которых вычислено среднее арифметическое m_x , ограничено, то, повторив заново серию наблюдений этой же величины, мы получили бы новое значение среднего арифметического. Повторив многократно серии наблюдений и вычисляя каждый раз их среднее арифметическое значение, принимаемое за результат измерения, мы убедимся в *рассеянии средних арифметических значений*. Характеристикой этого рассеяния является среднее квадратическое отклонение среднего арифметического $\sigma_{\bar{x}}$:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^2}{n(n-1)}} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}. \quad (3.1)$$

Среднее квадратическое отклонение $\sigma_{\bar{x}}$ используется для оценки погрешности результата измерений с многократными наблюдениями.

Теория показывает, что если рассеяние результатов наблюдений в группе подчиняется нормальному закону, то и их среднее арифметическое тоже подчиняется нормальному закону распределения при достаточно большом числе наблюдений ($n > 50$). Отсюда следует, что *при одинаковой доверительной вероятности, доверительный интервал среднего арифметического в \sqrt{n} раз уже доверительного интервала результата наблюдений*. Теоретически при $n \rightarrow \infty$ случайную погрешность результата измерения можно было бы свести к нулю. Однако это невозможно, и стремиться беспрестанно уменьшать случайную погрешность результата измерения не имеет смысла, так как рано или поздно определяющим становится не рассеяние среднего арифметического, а недостоверность поправок на систематическую погрешность (*неисключенная систематическая погрешность*).

При нормальном законе распределения плотности вероятностей результатов наблюдений и небольшом числе наблюдений среднее арифметическое подчиняется закону распределения Стьюдента с тем же средним арифметическим значением m_x . *Особенностью распределения Стьюдента является то, что доверительный интервал с уменьшением числа наблюдений расширяется*, по сравнению с нормальным законом распределения при той же доверительной вероятности. В формуле (2.12) для оценки доверительных границ случайной погрешности это отражается введением коэффициента t_q вместо k . Коэффициент t_q распределения Стьюдента зависит от числа наблюдений и выбранной доверительной вероятности и находится по таблице А.1 [15]. Так, при числе наблюдений $n = 14$ и доверительной вероятности $P = 0,95$ $t_q = 2,16$.

Правила обработки результатов измерения с многократными наблюдениями учитывают следующие факторы:

- обрабатывается ограниченная группа из n наблюдений;
- результаты наблюдений x_i могут содержать систематическую погрешность;
- в группе наблюдений могут встречаться грубые погрешности;
- распределение случайных погрешностей может отличаться от нормального.

При этом могут быть использованы различные процедуры обработки результатов наблюдений. Ниже описана стандартная методика обработки результатов прямых измерений с многократными, независимыми наблюдениями и основные положения по оцениванию погрешностей результатов измерений. Эта методика соответствует рекомендациям действующего стандарта [1].

В соответствии с методикой обработку ряда наблюдений следует выполнять в следующей последовательности:

- а) исключить известные систематические погрешности из результатов наблюдений;
- б) вычислить среднее арифметическое исправленных результатов наблюдений, принимаемое за результат измерения;
- в) вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов наблюдения;
- г) вычислить оценку среднего квадратического отклонения результатов измерения;
- д) исключить грубые погрешности и промахи из результатов наблюдений;
- е) в случае обнаружения грубых погрешностей и промахов после их исключения, повторить б)-г);
- ж) проверить гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению;

и) вычислить доверительные границы случайной составляющей погрешности результата измерения;

к) вычислить границы неисключенной систематической погрешности результата измерения;

л) вычислить доверительные границы погрешности результата измерения;

м) представить результат измерения в соответствии с установленными требованиями.

3.1.1 Исключение систематических погрешностей.

Исключение систематических погрешностей из результатов наблюдений проводится либо расчетным путем, либо по результатам *поверки*. После исключения систематических погрешностей все дальнейшие вычисления проводятся для исправленного ряда наблюдений.

3.1.2 Вычисление среднего арифметического ряда наблюдений.

Среднее арифметическое ряда наблюдений (результатов наблюдений) рассчитывают по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.2)$$

где x_i - i -й исправленный результат наблюдения;

\bar{x} - среднее арифметическое исправленного ряда наблюдений;

n - число результатов наблюдений.

3.1.3 Вычисление оценки среднего квадратического отклонения ряда наблюдений.

Среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений σ рассчитывают по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (3.3)$$

Среднее квадратическое отклонение ряда наблюдений σ является основной характеристикой размера случайных погрешностей *результатов наблюдений*.

Вычислив оценку СКО результата наблюдений, целесообразно проверить наличие в группе наблюдений грубых погрешностей, помня, что при нормальном законе распределения ни одна случайная погрешность $x_i - \bar{X}$, с вероятностью практически равной единице, не может выйти за пределы $\pm 3\sigma$. Наблюдения, содержащие грубые погрешности, исключают из группы и заново повторяют вычисления \bar{X} и σ .

3.1.4 Вычисление оценки среднего квадратического отклонения результата измерения.

Для расчета среднего квадратического отклонения результата измерения σ_x используется формула (3.1). Среднее квадратическое отклонение результата измерения σ_x является основной характеристикой размера

случайных погрешностей *результата измерений*.

3.1.5 Проверка гипотезы о принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению.

Чтобы установить, принадлежат (или не принадлежат) результаты наблюдений тому или иному распределению, необходимо сравнить экспериментальную функцию распределения с предполагаемой теоретической. Сравнение осуществляется с помощью критериев согласия.

В случае проверки принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению предпочтительным при числе результатов ≥ 30 является один из критериев χ^2 Пирсона или ω^2 Мизеса-Смирнова.

Рассмотрим *критерий согласия Пирсона*.

При числе результатов наблюдений $15 \leq n \leq 30$ производят приближенную проверку их принадлежности к нормальному распределению путем оценки коэффициента асимметрии и эксцесса.

При $n \leq 15$ гипотеза о принадлежности результатов к какому-либо распределению не проверяется. Если при этом имеется априорная информация о том, что нет причин, которые могли бы вызвать заметное отклонение распределения результатов от нормального закона, для обработки результатов наблюдений используется распределение Стьюдента.

Для проверки принадлежности результатов наблюдений к нормальному распределению с помощью критерия согласия Пирсона необходимо сначала построить гистограмму.

Построение гистограммы включает в себя следующие этапы:

а) исправленные результаты наблюдений располагаются в порядке возрастания x_1, x_2, \dots, x_n , где $x_i \leq x_{i+1}$;

б) вычисляется диапазон изменения значений результатов наблюдений:

$$R_n = x_n - x_1;$$

в) весь этот диапазон разбивается на r интервалов одинаковой длины (оценить необходимое количество интервалов можно по правилу $r = 1 + 3,32 \cdot \lg n$ с последующим округлением в большую сторону до ближайшего целого нечетного числа). Обычно r лежит в диапазоне от 7 до 15;

г) определяется ширина интервала:

$$\Delta = R_n / r = \frac{x_n - x_1}{r};$$

д) определяются границы интервалов $[x_{j-1}, x_j]$ так, чтобы нижняя граница j -го интервала совпала с верхней границей $(j-1)$ -го интервала $x_{jn} = x_{(j-1)6}$, а его верхняя граница $x_{j6} = x_{jn} + \Delta$;

е) для каждого j -го интервала ($j=1, 2, \dots, r$) вычисляются числа n_j - частота попадания результата наблюдений в интервал;

ж) строится гистограмма: по оси x в порядке возрастания номеров откладываются интервалы Δ_j , по оси y откладываются n_j -частота попадания

результатов наблюдений в j -ый интервал; таким образом, на каждом интервале Δ_j строится прямоугольник, высота которого пропорциональна n_j .

По результатам анализа гистограммы высказывается гипотеза о виде закона распределения экспериментальных данных и о численных характеристиках этого закона (для нормального закона такими характеристиками являются математическое ожидание и дисперсия). После этого используют критерий согласия для проверки гипотезы.

Критерий согласия χ^2 Пирсона имеет вид:

$$\chi^2 = \sum \frac{(n_j - nP_j)^2}{nP_j}, \quad (3.4)$$

где χ^2 - величина, характеризующая меру отклонения результатов наблюдений от теоретически предсказанных;

n_j - частота попадания результатов наблюдений в j -ый интервал;

P_j - теоретические значения вероятности попадания результатов в j -интервал, которые вычисляются по формуле:

$$P_j = \Phi(z_{j\theta}) - \Phi(z_{(j-1)\theta}), \quad (3.5)$$

где $\Phi(z)$ - функция Лапласа, $z_{j\theta} = \frac{x_{j\theta} - \bar{x}}{\sigma}$; $P_1 = \Phi(z_{1\theta})$.

Таблица значений функции Лапласа для некоторых z приведена в [15].

После вычисления значения χ^2 для заданной доверительной вероятности P и числа степеней свободы $\nu = r - k - 1$ (где r - количество разрядов разбиения; k - число параметров, необходимых для определения теоретической функции распределения, равное для нормального закона распределения двум), по таблицам χ^2 распределения находят критическое значение критерия согласия $\chi_{кр}^2$. В технической практике обычно задаются $P=0,95$, что соответствует вероятности 0,05 совершить ошибку первого рода, т.е. опровергнуть правильную гипотезу. Значения $\chi_{кр}^2$ приведены в [15]. Если $\chi^2 < \chi_{кр}^2$, принимают гипотезу о том, что результаты наблюдений принадлежат нормальному распределению, характеризующемуся математическим ожиданием и дисперсией, оценки которых получены по формулам (3.2) и (3.3). В противном случае ($\chi^2 \geq \chi_{кр}^2$) гипотеза отвергается.

3.1.6 Вычисление доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

Доверительные границы ε (без учета знака) случайной погрешности результата измерения находят по формуле:

$$\varepsilon = t_q \sigma_x, \quad (3.6)$$

где t_q - квантиль распределения Стьюдента, который зависит от довери-

тельной вероятности P и числа наблюдений n . Значения величины t_q при $P=0,95$ и $0,99$ приведены в [13].

3.1.7 Вычисление границ неисключенной систематической погрешности результата измерения.

Неисключенная систематическая погрешность (НСП) результата измерения образуется из составляющих, которыми могут быть неисключенные систематические погрешности метода, средств измерений и т.п. За границы составляющих неисключенной систематической погрешности принимают, например, пределы основных и дополнительных погрешностей средств измерений. При суммировании составляющие неисключенной систематической погрешности рассматриваются как случайные величины с равномерными законами распределения. Границы неисключенной систематической погрешности θ результата измерения рассчитываются по формуле:

$$\theta = k \sqrt{\sum_{i=1}^m \theta_i^2}, \quad (3.7)$$

где θ_i - граница i -ой неисключенной систематической погрешности;

k - коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью (при $P=0,95$ полагают $k=1,1$).

Доверительную вероятность для вычисления границ НСП принимают той же, что при вычислении границ случайной погрешности результата измерения.

3.1.8 Вычисление доверительных границ погрешности результата измерения.

Доверительная граница погрешности результата измерения устанавливается в зависимости от соотношения $\frac{\theta}{\sigma_{\bar{x}}}$.

Если $\frac{\theta}{\sigma_{\bar{x}}} < 0,8$, то неисключенными систематическими погрешностями пренебрегают и принимают, что доверительная граница погрешности результата измерения $\Delta = \varepsilon$ (формула (3.6)).

Если $\frac{\theta}{\sigma_{\bar{x}}} > 8$, то случайной погрешностью пренебрегают и принимают, что доверительная граница погрешности результата измерения $\Delta = \theta$ (формула (3.7)).

Если $0,8 \leq \frac{\theta}{\sigma_{\bar{x}}} \leq 8$, то доверительные границы погрешности результата измерения вычисляются по формуле:

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (3.8)$$

где K - коэффициент, зависящий от соотношения случайной погрешности и неисключенной систематической погрешности;

S_{Σ} - оценка суммарного среднего квадратического отклонения результата измерения.

Коэффициент K рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{\sigma_{\bar{x}} + \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3}}} . \quad (3.9)$$

Оценка S_{Σ} осуществляется по формуле:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^m \frac{\theta_i^2}{3} + \sigma_{\bar{x}}^2} . \quad (3.10)$$

Стандартом регламентирована и форма записи результатов измерений. При симметричном доверительном интервале погрешности результат измерения представляют в форме $X \pm \Delta$, P , где X - результат измерения.

При отсутствии данных о видах функции распределения составляющих погрешности результата или при необходимости дальнейшей обработки результатов, результат измерения представляют в форме $X, \sigma_{\bar{x}}, n, \theta$.

3.2 Прямые однократные измерения

Подавляющее большинство технических измерений являются однократными. В обычных производственных условиях их точность может быть вполне приемлемой, а простота, высокая производительность (количество измерений в единицу времени) и низкая стоимость ставят однократное измерение вне конкуренции с любыми другими.

При однократных измерениях для получения результата измерения используется одно-единственное значение отсчета показаний прибора. Будучи, по сути дела, случайным, однократный отсчет X включает в себя инструментальную, методическую и субъективную составляющие погрешности измерения, в каждой из которых могут быть выделены систематические и случайные составляющие.

Сравнительно легко, путем поверки или по паспортным данным может быть получена оценка систематической погрешности прибора, а анализом метода измерения - оценка систематической погрешности методического происхождения. При наличии в документации на прибор сведений о дополнительных систематических погрешностях, обусловленных влияющими величинами, эти погрешности также оцениваются и учитываются.

За результат однократного измерения принимают показания средства измерения [17]. Точность результата прямого измерения при применении измерительного показывающего прибора прямого действия может быть оценена приближенной максимальной (или предельной) погрешностью, определяемой по формуле:

$$\delta_n = \pm(\delta_{осн} + \delta_{доп} + \delta_m), \quad (3.11)$$

где $\delta_{осн}$ - пределы допускаемой основной погрешности применяемого измерительного прибора при его эксплуатации в нормальной области значений влияющих величин;

$\delta_{доп}$ - пределы допускаемых дополнительных погрешностей измерительного прибора, определяемые отклонением влияющих величин за пределы, установленные для их нормальных значений или для нормальной области значений;

δ_m - методическая погрешность.

При проведении однократных измерений всегда стремятся поддерживать нормальные условия эксплуатации и выбрать такой способ измерений, чтобы методическая погрешность и субъективные погрешности оказывали минимальное воздействие на результат. Субъективные погрешности при измерениях предполагаются малыми и их не учитывают.

Если однократное измерение правильно организовано, то для представления результатов измерений достаточно, как правило, сведений о показании средства измерений и пределах его допускаемой основной погрешности, для определения которой используется такая метрологическая характеристика, как класс точности средства измерений.

Формулы вычисления пределов основной погрешности средств измерений и примеры обозначения для них классов точности приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1- Формулы для вычисления предела основной погрешности

Формула для вычисления предела основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности, %	Примеры обозначения класса точности СИ Общий вид пример
$\gamma_{np} = \frac{\Delta x}{X_N} 100\% = \pm P$	$\pm P$	P 2,5
$\delta_{омн} = \frac{\Delta x}{X} 100\% = \pm q$	$\pm q$	q 2
$\delta_{омн} = \frac{\Delta x}{X} 100\% =$ $\pm \left[c + d \left(\left \frac{X_K}{X} \right - 1 \right) \right]$	$\pm \left[c + d \left(\left \frac{X_K}{X} \right - 1 \right) \right]$	$\frac{c}{d}$ $\frac{0.02}{0.01}$

Здесь X – показание средства измерений; X_N - нормирующее значение, равное диапазону измерения для данного средства измерений; X_K - конечное значение выбранного диапазона измерений; Δx - абсолютная погрешность

средства измерений. Величины P, q, c, d представляют собой числа, выбираемые из ряда $(1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6) 10^n$, где $n=1; 0; -1; -2$ и т.д.

Понятие класса точности используется на практике как при представлении результатов измерений, так и при выборе средств измерений, подходящих для решения поставленной измерительной задачи.

Общую схему оценивания погрешностей можно представить следующим образом. Выбрав, исходя из условий измерительной задачи, необходимое средство измерения (прибор), уточняют условия измерения (нормальные, рабочие) и оценивают возможные дополнительные погрешности прибора, возникающие от воздействия влияющих величин.

В результате для оценивания погрешности измерения имеем сведения о погрешностях средства измерения:

- предел допускаемой основной погрешности прибора $\delta_{осн}$;
- дополнительные погрешности $\delta_{доп1}, \delta_{доп2}, \dots, \delta_{допm}$.

Таким образом, задача сводится к суммированию этих составляющих погрешности по формуле (3.11).

3.2.1 Задача 1. Выполнено однократное измерение напряжения U_x на участке электрической цепи сопротивлением $R = 4$ Ом вольтметром с пределом допускаемой погрешности 0,5% от верхнего предела измерения ($U_v = 1,5$ В). Условия измерения: температура 20°C; магнитное поле до 400 А/м. Показание вольтметра 0,90 В. Сопротивление вольтметра $R_v = 1000$ Ом. Найдём результат и погрешность измерения.

Инструментальная составляющая погрешности измерения определяется основной и дополнительной погрешностями. При показании вольтметра 0,90 В предел допускаемой относительной погрешности вольтметра на этой отметке в процентах равен:

$$\delta_{осн} = \frac{0,5 \cdot 1,5}{0,90} = 0,83\% .$$

Дополнительная погрешность от влияния магнитного поля подсчитана по паспортным данным и находится в пределах $\pm 0,75\%$, дополнительная температурная погрешность отсутствует, так как измерение произведено при нормальной температуре $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$.

Методическая погрешность определяется соотношением между сопротивлением участка цепи R и сопротивлением вольтметра R_v . При подключении вольтметра к цепи его показание будет:

$$U = U_x \frac{R}{R + R_v} .$$

Отсюда относительная методическая погрешность:

$$\delta_M = \frac{\Delta U}{U} = -\frac{100R}{R + R_v} = \frac{100 \cdot 4}{1004} = -0,4\% .$$

Эта методическая погрешность является систематической

погрешностью и должна быть исключена из результата измерения путем введения поправки:

$$\Delta = 0,9 \times 0,4/100 = 0,004 \text{ В.}$$

Результат измерения с учетом поправки на систематическую погрешность будет:

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

Найдем границы относительной погрешности результата измерения суммированием:

$$\delta_x = \delta_{осн} + \delta_{доп} = 0,83 + 0,75 = 1,58\% .$$

Или, переходя к абсолютной погрешности:

$$\Delta = \pm 0,014 \text{ В.}$$

Используя правило округления результата измерения (п.3.4), результат измерения можно представить в форме:

$$U_x = (0,900 \pm 0,014) \text{ В.}$$

3.2.2 Задача 2. Расширенная область значений влияющих величин (РОЗ): от 0°C до 50°C . Нормальные условия (Н.У.): $20 \pm 5^\circ\text{C}$. Класс точности измерительного прибора равен $Kл = 0,5$. Прибор работает при $t_{экспл} = 40^\circ\text{C}$. Нормированное значение предела допускаемой дополнительной погрешности равно $\delta_{доп} = \pm 0,2\%$ на каждые $t_{откл} = 10^\circ\text{C}$ отклонения температуры окружающей среды от нормальной области. Определить погрешность показаний прибора.

Решение задачи 2.

Погрешность показаний прибора равна:

$$\delta_n = \pm(\delta_{осн} + \delta_{доп}).$$

Основная погрешность измерительного прибора $\delta_{осн}$ определяется классом точности измерительного прибора и равна $0,5\%$.

Для определения дополнительной погрешности найдем отклонение температуры окружающей среды от нормальной области значений $20 \pm 5^\circ\text{C} = (15 \div 25)^\circ\text{C}$: $\Delta t_{окр.среды} = 40 - 25 = 15^\circ\text{C}$.

Дополнительная погрешность измерительного прибора:

$$\delta_{доп} = \frac{0,2\% \Delta t_{окр.среды}}{10^\circ\text{C}} = \frac{0,2\% \cdot 15^\circ\text{C}}{10^\circ\text{C}} = \pm 0,3\% .$$

Погрешность показаний прибора:

$$\delta_n = \pm(\delta_{осн} + \delta_{доп}) = \pm(0,5 + 0,3)\% = \pm 0,8\% .$$

Ответ: $\delta_n = \pm 0,8\%$.

3.2.3 Задача 3. Выбрать класс точности и диапазон измерения вольтметра для измерения номинального напряжения 220 В с относительной

погрешностью, не превышающей 1%. Записать результат измерения, если вольтметр показал 230 В, измерение проводилось в нормальных условиях и методическая погрешность была пренебрежительно мала.

Результат измерения записать в соответствии с правилами округления.

Решение задачи 3.

Поскольку номинальное значение параметра должно попадать во вторую половину диапазона измерений вольтметра, выбираем вольтметр с диапазоном измерения от 0 В до 300 В. Исходя из приведенного условия, для того чтобы относительная погрешность измерения не превысила 1% необходимо, чтобы модуль абсолютной погрешности измерений не превысил:

$$|\Delta x| \leq \frac{\delta_{\text{отн}} X_{\text{ном}}}{100\%} = \frac{1\% 220 \text{ В}}{100\%} = 2.2 \text{ В}.$$

Модуль приведенной погрешности вольтметра не может превысить:

$$|\gamma_{\text{привед}}| = \frac{\Delta x}{X_N} 100\% = 2.2 \text{ В} / 300 \text{ В} \cdot 100\% = 0.7\%,$$

что соответствует классу точности 0,7. Приборы такого класса точности не выпускаются. Величины класса точности представляют собой числа, выбираемые из ряда (1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6) 10^n , где $n=1; 0; -1; -2$ и т.д. Поэтому выбираем вольтметр класса точности 0,6. Тогда модуль абсолютной погрешности измерений не превысит:

$$|\Delta x| \leq \frac{\gamma_{\text{привед}} X_N}{100\%} = \frac{0.6\% 300 \text{ В}}{100\%} = 1.8 \text{ В}.$$

Ответ: $V = (230,0 \pm 1,8) \text{ В}$.

3.3 Оценка точности косвенных измерений

Косвенные измерения – измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям:

$$Y = f(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_m),$$

где x_i – определяют в ходе прямых измерений.

Другими словами, искомое значение физической величины рассчитывают по формуле, а значения величин, входящих в формулу, получают в ходе прямых измерений.

П р и м е р - Измерение мощности, рассеиваемой на сопротивлении, может быть выполнено расчетом по формуле $P = I^2 R$ на основании измерения амперметром тока I и омметром сопротивления резистора R ; измерение плотности - по массе и объему тела; измерение сопротивления - по напряжению и току и т. д.

Если величины x_i независимы, то зависимость погрешности результата измерения от погрешности исходных величин выражается формулами:

а) абсолютной погрешности:

$$\Delta y = \pm \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}; \quad (3.13)$$

б) относительной погрешности:

$$\delta_Y = \pm \frac{\Delta y}{y} 100 = \pm 100 \sqrt{\sum_{i=1}^n \left(\frac{\partial \ln f}{\partial x_i} \Delta x_i \right)^2}.$$

3.3.1 *Задача 1.* При измерении расхода калориметрическим расходомером измерение мощности нагревателя производится по показаниям амперметра и вольтметра. Оба эти прибора имеют класс точности $K_L=0,5$, работают в нормальных условиях и имеют соответственно шкалы 0-5 А и 0-30 В. Номинальные значения силы тока 3,5 А и напряжения 24 В.

Оценить погрешность, с которой производится измерение мощности. Представить результат измерения мощности нагревателя в соответствии с правилами округления.

Решение задачи 1.

Погрешность измерения мощности нагревателя W оценивается как погрешность косвенного измерения по формуле (3.13):

$$\Delta W = \sqrt{\left(\frac{\partial W}{\partial U} \Delta U \right)^2 + \left(\frac{\partial W}{\partial I} \Delta I \right)^2}.$$

В связи с отсутствием каких-либо других метрологических характеристик средств измерений, кроме класса точности, можно определить только пределы допускаемых значений погрешности в соответствии с классом точности (K_L) и шкалой прибора ($U_B - U_H$):

$$\Delta U = \frac{U_B - U_H}{100} K_L = \frac{30 - 0}{100} 0,5 = \pm 0,15 \text{ В};$$

$$\Delta I = \frac{I_B - I_H}{100} K_L = \frac{5 - 0}{100} 0,5 = \pm 0,025 \text{ А}.$$

Известно, что мощность равна $W = IU = 3,5 \cdot 24 = 84 \text{ Вт}$, тогда $\frac{\partial W}{\partial U} = I$, $\frac{\partial W}{\partial I} = U$.

Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения мощности:

$$\Delta W = \sqrt{(3,5 \cdot 0,15)^2 + (24 \cdot 0,025)^2} = \pm 0,795 \text{ Вт}.$$

Предел допускаемой относительной погрешности измерения мощности:

$$\delta W = \frac{\Delta W}{W} 100 = \frac{0,795}{24 \cdot 3,5} 100 = \pm 0,95\%.$$

Ответ: $\Delta W = \pm 0,795 \text{ Вт}$; $\delta W = \pm 0,95\%$;

результат измерения $W = (84,0 \pm 0,8) \text{ Вт}$.

3.3.2 *Задача 2.* При исследовании теплоотдачи от трубы к воздуху коэффициент теплоотдачи подсчитывается из выражения:

$$\alpha_K = \frac{Q}{F(t_C - t_B)}.$$

Количество теплоты Q , передаваемой трубкой путем конвекции, определяется по мощности, потребляемой электронагревателем, как произведение сопротивления трубки R на квадрат силы тока I :

$$Q = R I^2.$$

Сила тока измеряется амперметром со шкалой 0-50 А класса 0,1; номинальное значение тока 42 А.

Зависимость сопротивления трубки от температуры была найдена в специальных опытах и описывается выражением:

$$R_t = R_0(1 + \alpha t). \quad (3.14)$$

При $t=0$ значение сопротивления $R_0 = 0,5$ Ом, $\alpha = 4 \cdot 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Относительная погрешность измерения сопротивления не превышает $\pm 0,2\%$.

Поверхность трубки F определяется по длине l и его диаметру d :

$$F = \pi dl.$$

Значение длины $l = 100 \pm 0,5$ мм, диаметра $d = 10 \pm 0,01$ мм.

Температура стенки трубки t_c измеряется стандартным термоэлектрическим термометром градуировки ХК. Термометр через сосуд свободных концов подсоединяется к лабораторному потенциометру ПП-63 класса 0,05. Номинальное значение температуры стенки $200 \text{ } ^\circ\text{C}$. Предел допускаемой погрешности, мВ, потенциометра ПП-63 определяется по формуле:

$$\Delta e_{II} = \pm(5 \cdot 10^{-4} U + 0,5 U_p),$$

где U – показания потенциометра, мВ;

U_p – цена деления шкалы, мВ; $U_p = 0,05$ мВ.

Температура воздуха t_b измеряется вдали от трубки ртутным термометром повышенной точности со шкалой $100 - 150 \text{ } ^\circ\text{C}$ и предел допускаемой основной погрешности $0,5 \text{ } ^\circ\text{C}$. Номинальное значение температуры воздуха составляет $120 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Оценить погрешность измерения коэффициента теплоотдачи на лабораторной установке. Погрешностями, связанными с методами измерения, пренебречь. Результат измерения записать в соответствии с правилами округления.

Решение задачи 2.

Коэффициент теплоотдачи определяется как результат косвенных измерений параметров Q , F , t_c и t_b . Поэтому предел допускаемой абсолютной погрешности определения коэффициента теплоотдачи может быть подсчитан из выражения (по формуле (3.13)):

$$\Delta \alpha_K = \sqrt{\left(\frac{\partial \alpha_K}{\partial Q} \Delta Q\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha_K}{\partial F} \Delta F\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha_K}{\partial t_c} \Delta t_c\right)^2 + \left(\frac{\partial \alpha_K}{\partial t_b} \Delta t_b\right)^2}.$$

В связи с тем, что все измеряемые параметры определяются с допускаемыми отклонениями, которые можно считать предельными значениями погрешности, сам коэффициент теплоотдачи может быть оценен с каким-то пределом допускаемой погрешности.

Количество теплоты Q определяется по мощности электронагревателя. Таким образом, Q в свою очередь является результатом косвенных измерений I и R .

Температура трубки измерялась стандартным термоэлектрическим термометром градуировки ХК в комплекте с потенциометром ПП-63. Допускаемое отклонение термо-ЭДС термоэлектрического термометра ТХК от градуировочных значений при $t \leq 300^\circ\text{C}$ составляет $\Delta e_T = \pm 0,2$ мВ [15]. Предел допускаемой погрешности потенциометра ПП-63:

$$\Delta e_{II} = \pm(5 \cdot 10^{-4} \cdot 14,59 + 0,5 \cdot 0,05) = 0,032 \text{ мВ};$$

$$U = E(200^\circ\text{C}, 0^\circ\text{C}) = 14,59 \text{ мВ}.$$

Оценим предел суммарной погрешности Δe_Σ измерения температуры в предположении, что погрешности термометра и потенциометра являются независимыми величинами. Тогда:

$$\Delta e_\Sigma = \sqrt{\Delta e_T^2 + \Delta e_{II}^2} = \sqrt{0,2^2 + 0,032^2} = \pm 0,203 \text{ мВ},$$

что соответствует $\Delta t = \pm 3^\circ\text{C}$ или $\frac{\Delta t}{t_c} = \pm 0,0145$.

Сопротивление трубки R определялось по измеренной температуре в соответствии с выражением (3.14):

$$R = 0,5 \cdot (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 200) = 0,9 \text{ Ом}.$$

Погрешность определения значения R обусловлена погрешностью прибора, измеряющего сопротивление, и погрешностью измерения температуры. Составляющая погрешности, обусловленная погрешностью прибора, не превышает:

$$\Delta R_{II} = \pm 0,002 R_0 (1 + \alpha t) = \pm 0,002 \cdot 0,5 (1 + 4 \cdot 10^{-3} \cdot 200) = 0,0018 \text{ Ом}.$$

Составляющая погрешности, обусловленная погрешностью измерения температуры, не превышает:

$$\Delta R_t = \pm R_0 \alpha \Delta t = \pm 0,5 \cdot 0,004 \cdot 3 = \pm 0,006 \text{ Ом}.$$

Оценим предел суммарной погрешности определения сопротивления нагреваемой трубки по ее температуре, полагая, что погрешность градуировки трубки и погрешность измерения температуры – независимые величины:

$$\Delta R_\Sigma = \sqrt{\Delta R_{II}^2 + \Delta R_t^2} = \sqrt{0,0018^2 + 0,006^2} = \pm 0,00606 \text{ Ом}$$

или в относительных величинах $\Delta R_\Sigma / R = \pm 0,00673$.

Теперь можно оценить погрешность определения количества теплоты, передаваемой от трубки к воздуху:

$$Q = R I^2 = 0,9 \cdot 42^2 = 1588 \text{ Вт},$$

откуда по формуле (3.13):

$$\Delta Q = \sqrt{\left(\frac{\partial Q}{\partial R} \Delta R\right)^2 + \left(\frac{\partial Q}{\partial I} \Delta I\right)^2} = \pm \sqrt{42^4 \cdot 0,00606^2 + (2 \cdot 0,9 \cdot 42 \cdot 0,05)^2} = \pm 11,34 \text{ Вт}.$$

Оценим предел погрешности определения поверхности теплообменника F :

$$F = \pi dl = 3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,1 = 0,00314 \text{ м}^2;$$

$$\Delta F = \pm \sqrt{(3,14 \cdot 0,1 \cdot 0,0001)^2 + (3,14 \cdot 0,01 \cdot 0,0005)^2} = \pm 16 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2.$$

Оценим погрешность измерения воздуха по характеристикам стеклянного термометра. Термометр со шкалой 100 – 150 °С имеет предел допускаемой погрешности $\pm 0,5^\circ\text{C}$. Таким образом, $\Delta t_B = \pm 0,5^\circ\text{C}$ или $\Delta t_B / t_B = \pm 0,00416$.

Для оценки предела погрешности определения коэффициента теплоотдачи воспользуемся формулой для определения абсолютной погрешности. Вначале определим частные производные:

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial Q} = \frac{1}{F(t_C - t_B)} = 3,98 \frac{1}{\text{м}^2 \text{К}};$$

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial F} = \frac{Q}{F^2(t_C - t_B)} = 2,013 \cdot 10^6 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^4 \text{К}};$$

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial t_C} = \frac{Q}{F(t_C - t_B)^2} = 79,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^2};$$

$$\frac{\partial \alpha_K}{\partial t_B} = \frac{Q}{F(t_C - t_B)^2} = 79,02 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}^2}.$$

Абсолютная погрешность:

$$\Delta \alpha_K = \pm \sqrt{(3,98 \cdot 11,34)^2 + (2,013 \cdot 16)^2 + (79,02 \cdot 3)^2 + (79,02 \cdot 0,5)^2} = \pm 239,06 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Расчетный коэффициент теплоотдачи:

$$\alpha_K = \frac{Q}{F(t_C - t_B)} = \frac{1588}{0,00314(473 - 393)} = 6321,7 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}.$$

Предел допускаемой относительной погрешности:

$$\delta_\alpha = \frac{\Delta \alpha_K}{\alpha_K} = \pm \frac{239,06}{6321,7} 100 = \pm 3,78\%.$$

Ответ: $\alpha_K = (6320 \pm 240) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \text{К}}; \quad \delta_\alpha = \pm 3,78\%.$

3.4 Правила округления результатов измерений

Результат измерения записывается в виде:

$$x = \bar{X} \pm \Delta, \quad P, \tag{3.15}$$

где \bar{X} - собственно результат измерения (или среднее арифметическое значение);

Δ - погрешность (или доверительные границы погрешности) результата измерения;

P – доверительная вероятность.

Эта форма представления результата измерений принята в качестве основной при оценке точности измерений в АСУ ТП энергетики [10].

При окончательном оформлении результатов измерений необходимо придерживаться следующих правил.

Поскольку погрешности измерений определяют лишь зону неопределенности результатов, их не требуется знать очень точно. В окончательной записи погрешность измерения принято выражать числом с одним или двумя значащими цифрами.

Эмпирически были установлены следующие правила округления рассчитанного значения погрешности и полученного результата измерения:

- округление результата измерения, представленного в виде (3.15), начинать с округления значения погрешности;
- если первая значащая цифра в значении погрешности равна 1 или 2, то погрешность результата измерения округляется до двух значащих цифр, то есть остается разряд с данной цифрой (1 или 2) и следующий за ним разряд. Остальные цифры отбрасываются, округление осуществляется по правилам арифметического округления:

- 1) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов меньше 5, то оставшиеся цифры числа не изменяются. Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются;

- 2) если цифра старшего из отбрасываемых разрядов больше 5, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу;

- 3) если отбрасываемая цифра равна 5, а следующие за ней цифры неизвестны или нули, то последнюю сохраняемую цифру числа не изменяют, если она четная, и увеличивают на единицу, если она нечетная. Если цифра старшего из отбрасываемых разрядов равна 5, но за ней следуют отличные от нуля цифры, то последнюю оставляемую цифру увеличивают на единицу;

- если первая значащая цифра в значении погрешности равна или больше 3, то в значении погрешности сохраняется только данный разряд. Остальные цифры отбрасываются, округление осуществляется по правилам арифметического округления;

- результат измерения округляется до того же разряда, которым оканчивается округленное значение погрешности. Если десятичная дробь в числовом значении результата измерений оканчивается нулями, то нули отбрасываются до того разряда, который соответствует разряду числового значения погрешности;

- округление производится лишь в окончательном ответе, а все предварительные вычисления проводят с одним-двумя лишними знаками.

Если руководствоваться этими правилами округления, то количество значащих цифр в числовом значении результата измерений дает возможность ориентировочно судить о точности измерения. Это связано с тем, что предельная погрешность, обусловленная округлением, равна половине единицы последнего разряда числового значения результата измерения.

Для оценки влияния округления результата измерения Y представим

его в виде [9]:

$$Y = A_1 \cdot 10^R + A_2 \cdot 10^{R-1} + A_3 \cdot 10^{R-2} + \dots + A_S \cdot 10^P, \quad (3.16)$$

где A_1, \dots, A_S – десятичные цифры и старшая цифра $A_1 \neq 0$;

R, P, S – целые числа, причем $R - P = S - 1$.

Абсолютная погрешность, обусловленная округлением, $\Delta = 0,5 \cdot 10^P$.

В качестве оценки относительной предельной погрешности округления рекомендуется [9] принять:

$$\delta = \frac{\Delta}{A_1 \cdot 10^R} = 0,5 \frac{10^{P-R}}{A_1} = \frac{1}{2A_1} 10^{1-S},$$

поскольку деление абсолютной погрешности лишь на первый член суммы (3.16) ведет к увеличению числового значения оценки погрешности.

Поскольку значения A_1 могут находиться в пределах от 1 до 9, то при одной значащей цифре ($S = 1$) предельная погрешность округления может находиться в пределах от 6 до 50%. При двух значащих цифрах она составит от 0,6 до 5%, при трех – от 0,06 до 0,5%.

Оцененные границы погрешности округления характеризуют влияние округления на точность результата измерения. Кроме того, эти данные позволяют ориентироваться в минимально необходимом для записи результата измерений числе значащих цифр при его заданной точности.

3.5 Контрольные вопросы

3.5.1 Какие измерения называются измерениями с многократными наблюдениями?

3.5.2 Какое значение принимается за результат измерения?

3.5.3 Что принимается за среднее квадратическое отклонение среднего арифметического?

3.5.4 Какие факторы учитываются в правилах обработки результатов измерения с многократными наблюдениями?

3.5.5 В чем заключается стандартная методика обработки результатов прямых измерений с многократными, независимыми наблюдениями?

3.5.6 Формула среднего квадратического отклонения ряда наблюдений.

3.5.7 Формула среднего арифметического ряда наблюдений (результатов наблюдений)?

3.5.8 Какая величина является основной характеристикой размера случайных погрешностей результатов наблюдений?

3.5.9 Алгоритм проверки наличия в группе наблюдений грубых погрешностей.

3.5.10 Какая величина является основной характеристикой размера случайных погрешностей результата измерений?

3.5.11 Какие критерии и в каких случаях применяются при проверке принадлежности результатов наблюдений нормальному распределению?

3.5.12 Этапы построения гистограммы.

3.5.13 Критерий согласия χ^2 Пирсона.

3.5.14 Формула доверительных границ случайной погрешности результата измерения.

3.5.15 Вычисление границ неисключенной систематической погрешности результата измерения.

3.5.16 Какой формулой оценивается точность результата прямого измерения при применении измерительного показывающего прибора прямого действия?

3.5.17 Дать определение и формулу прямых измерений.

3.5.18 Дать определение и формулу косвенных измерений.

3.5.19 Формула погрешности прямых измерений.

3.5.20 Формула погрешности косвенных измерений.

3.5.21 Правила округления результата измерения.

4 Основные сведения о средствах измерений

4.1 Классификация средств измерений

Средства измерений (СИ) – технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические характеристики. К *метрологическим характеристикам* относят такие характеристики, которые влияют на результат измерений и на его погрешность (п.4.2).

Классификация средств измерений представлена на рисунке 4.1.

Мера – СИ, предназначенное для воспроизведения и/или хранения физической величины заданного размера.

П р и м е р - Гиря – мера массы; резистор – мера сопротивления; линейка - мера длины.

Различают следующие разновидности мер:

- *однозначная мера* – мера, воспроизводящая физическую величину одного размера (например, гиря 1 кг);

- *многозначная мера* - мера, воспроизводящая физическую величину разных размеров (например, штриховая линейка);

- *набор мер* – комплект мер разного размера одной и той же физической величины, предназначенных для применения на практике как по отдельности, так и в различных сочетаниях (например, набор концевых мер длины).

Измерительные устройства (ИУ) применяются самостоятельно или в составе измерительных установок или систем. В зависимости от *формы представления информации* измерительные устройства подразделяются на измерительные приборы (ИП) и измерительные преобразователи (ИПр).

Измерительный прибор – СИ, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Измерительные приборы различают: 1) аналоговые

и цифровые приборы; 2) показывающие и самопишущие приборы; 3) приборы прямого действия и приборы сравнения.

Измерительные преобразователи - СИ, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и (или) хранения, но не поддающейся непосредственному восприятию наблюдателем. Измерительные преобразователи бывают: первичные и вторичные; промежуточные и передающие; масштабные, датчики и т.д.

Измерительные установки и системы – совокупность СИ, объединенных по функциональному признаку со вспомогательными устройствами, для измерения одной или нескольких ФВ объекта измерения.

Унифицированные СИ – СИ, входящие в ГСП (Государственную систему промышленных приборов и средств автоматизации). Эта система строится по блочно-модульному принципу:

- приборы с пневматическими входными и выходными сигналами 0,2 – 1 кгс/см² (0,02 – 0.1 МПа);

- приборы с электрическими входными и выходными сигналами:

- а) постоянного тока 0-5, 0-20, 0-100 мА или 0-10 В;

- б) переменного тока частотой 50 или 400 Гц; 1-0-1 В, 0-2 В, 1-3 В; 0-10 МГц, 10-0-10 МГц;

- приборы с электрическим частотным входным и выходным сигналами 1500 -2500 Гц и 4000 – 8000 Гц.

Эти приборы имеют унифицированные входные и выходные сигналы, что обеспечивает взаимозаменяемость средств измерений, способствует сокращению разновидности вторичных измерительных устройств, повышает надежность действия устройств автоматизации, дает широкие перспективы применения ЭВМ.

В зависимости от назначения в системе обеспечения единства измерений СИ делятся на две категории:

- рабочие меры, измерительные приборы, измерительные преобразователи;

- эталоны.

Рабочие СИ – СИ, предназначенные для повседневных практических измерений во всех отраслях народного хозяйства. Различают рабочие СИ: 1) повышенной точности (лабораторные) СИ; 2) технические СИ.

Эталон – высокоточная мера, предназначенная для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее размера другим СИ. Классификация, назначение и общие требования к созданию, хранению и применению эталонов устанавливает ГОСТ 8.057-80 «ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения».

Перечень эталонов не повторяет перечня ФВ. Для ряда единиц эталоны не создаются из-за того, что нет возможности непосредственно сравнивать соответствующие ФВ, например, нет эталона площади.

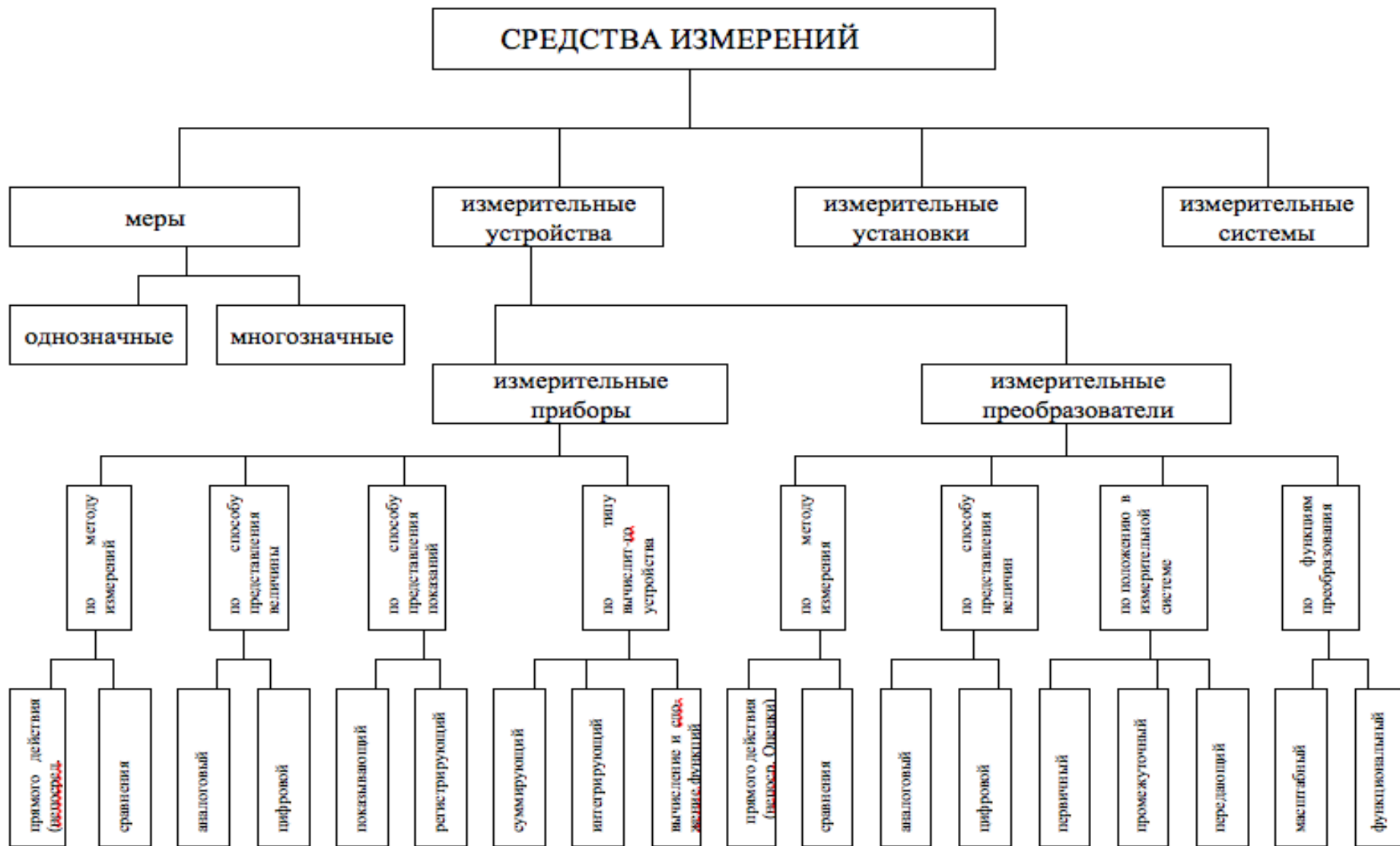


Рисунок 4.1 – Классификация средств измерений

Различают следующие виды эталонов:

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

Национальный эталон утверждается в качестве исходного СИ для страны национальным органом по метрологии.

Международные эталоны хранит и поддерживает Международное бюро мер и весов (МБМВ). Его задача состоит в систематических международных сличениях национальных эталонов разных стран с международными эталонами, а также и между собой. Сличению подлежат как эталоны основных величин системы СИ, так и производных величин. Установлены определенные периоды сличения: эталоны метра и килограмма – каждые 25 лет; электрические и световые эталоны – 1 раз в 3 года [13];

- *вторичные эталоны* хранят размер единицы, полученной путем сличения с первичным эталоном соответствующей ФВ. По своему метрологическому назначению вторичные эталоны делятся на следующие:

- *эталон-копия* предназначен для передачи размера единиц рабочим эталонам;

- *эталон сравнения* применяется для сличения эталонов, которые по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличаемы друг с другом;

- *эталон-свидетель* предназначен для проверки сохранности и неизменности государственного эталона и замены его в случае порчи или утраты. В настоящее время только эталон килограмма имеет эталон-свидетель;

- *рабочий эталон* применяется для передачи размера единицы рабочим средствам измерения. Это самые распространенные эталоны. Рабочие эталоны при необходимости подразделяются на разряды 1, 2 и т.д., определяющие порядок их соподчинения в соответствии с поверочной схемой. В нашей стране вместо термина «рабочие эталоны» используется термин «образцовые средства измерений», который в большинстве других стран не применяется.

Верхний предел измерений образцовых СИ должен быть больше или равен верхнему пределу измерений поверяемого прибора. Допускаемая погрешность образцовых СИ должна быть значительно меньше (в 4-5 раз) допускаемой погрешности испытываемого прибора.

Рабочие СИ поверяются в контрольных лабораториях системы Госстандарта по рабочим эталонам 4-го разряда. Рабочие эталоны 4-го разряда (образцовые СИ) поверяются в государственных контрольных лабораториях 1-го разряда по еще более точным рабочим эталонам 3-его разряда. Рабочие эталоны (образцовые СИ) 3-го разряда поверяются методом сравнения с образцовыми СИ 2-го разряда и т.д.

Самые первые эталоны официально были утверждены во Франции в 1799 году и переданы в Национальный архив Франции на хранение (п.1.2.1).

4.2 Метрологические характеристики средств измерений

При использовании СИ принципиально важно знать степень соответствия информации об измеряемой величине, содержащейся в выходном сигнале, ее истинному значению. С этой целью для каждого СИ вводятся и нормируются определенные метрологические характеристики.

Метрологические характеристики (МХ) – характеристики свойств СИ, оказывающие влияние на результаты и погрешности измерений. Характеристики, устанавливаемые нормативно-техническими документами, называются *нормируемыми*, а определяемые экспериментально – *действительными*. Номенклатура МХ, правила выбора комплексов нормируемых МХ для средств измерений и способы их нормирования определяются стандартом ГОСТ 8.009-84 «ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений».

Номенклатура метрологических характеристик СИ приведена на рисунке 4.2.



Рисунок 4.2 – Номенклатура метрологических характеристик СИ

В полном перечне метрологических характеристик можно выделить следующие их группы:

- *градуировочные характеристики*, определяющие соотношение между сигналами на входе и выходе средства измерений в статическом режиме. К

ним относятся, например, номинальная статическая характеристика преобразования (градуировочная характеристика) прибора, номинальное значение меры, пределы измерения, цена деления шкалы, вид и параметры цифрового кода в цифровом приборе;

- *показатели точности средства измерения*, позволяющие оценить инструментальную составляющую погрешности результата измерения;

- *динамические характеристики*, отражающие инерционные свойства средств измерения и необходимые для оценивания динамических погрешностей измерений;

- *функции влияния*, отражающие зависимость метрологических характеристик средств измерения от воздействия влияющих величин или неинформативных параметров входного сигнала.

Неинформативным называется параметр входного сигнала, не связанный непосредственно с измеряемой величиной, но оказывающий влияние на результат измерения, например, частота переменного электрического тока при измерении его амплитуды.

Обычно метрологические характеристики нормируются отдельно для *нормальных и рабочих условий применения средств измерений*. Нормальными считаются такие условия, при которых изменением метрологических характеристик под воздействием влияющих величин можно пренебречь. Так, для многих типов средств измерений нормальными условиями применения являются: температура $(20 \pm 5)^\circ\text{C}$, атмосферное давление 84 ... 106 кПа, относительная влажность 30 ... 80%. Рабочие условия отличаются от нормальных более широкими диапазонами влияющих величин.

Рассмотрим основные метрологические характеристики СИ.

4.2.1 Статические характеристики измерительных устройств.

Режим работы ИУ, при котором значения входных X и выходных Y сигналов не меняются, называется *статическим (стационарным)*.

Статической характеристикой ИУ называется функциональная зависимость выходного сигнала от входного в статическом режиме работы указанного устройства (рисунок 4.3). В общем случае это нелинейная зависимость $Y = f(x)$.

Для ИУ с неименованной шкалой или шкалой, отградуированной в единицах, отличных от единиц измеряемой величины, статическую характеристику принято называть *функцией преобразования*. Для измерительных приборов статическую характеристику еще называют *характеристикой шкалы*. Определение статической характеристики связано с выполнением градуировки, поэтому для всех СИ используют понятие *градуировочной характеристики*, под которой понимают зависимость между значениями величин на выходе и на входе СИ, составленную в виде таблицы, графика или формулы.

За исключением специальных случаев, основное требование, предъявляемое к статической характеристике ИУ, сводится к получению

линейной зависимости между выходной и входной величинами. На практике это требование реализуется с некоторой заранее принятой погрешностью.

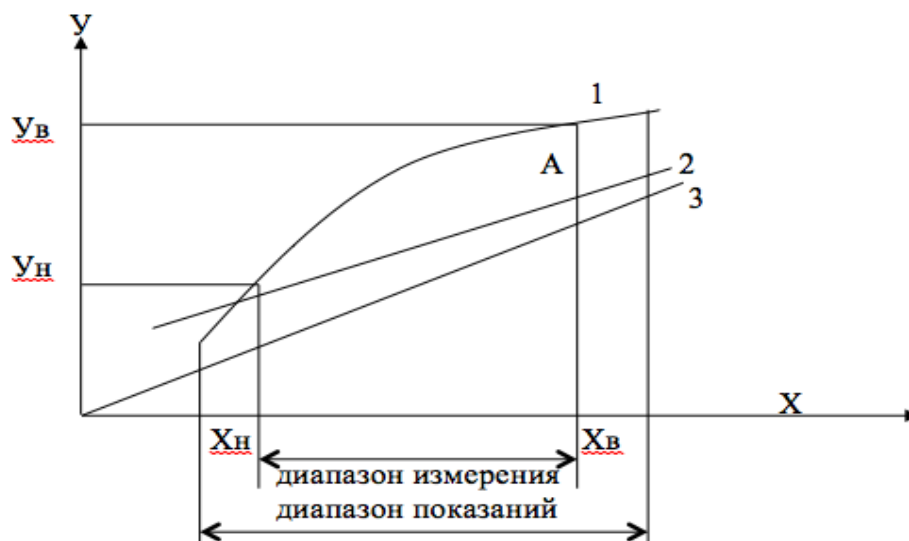


Рисунок 4.3 – Статическая характеристика измерительного устройства

Диапазон показаний – область шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Диапазон измерений (рабочая часть шкалы) – область значений измеряемой величины (на шкале), для которой нормированы допускаемые погрешности средств измерений:

$$(X_v - X_n; Y_v - Y_n),$$

где Y_n, X_n – нижний предел диапазона измерений;

Y_v, X_v – верхний предел диапазона измерений.

Для количественной оценки влияния на выходной сигнал ИУ входного сигнала в произвольной точке статической характеристики служит предел отношения приращения ΔY выходного сигнала к приращению ΔX входного сигнала, когда $\Delta X \rightarrow 0$, то есть производная в выбранной точке равна:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{\Delta Y}{\Delta X} = \frac{dY}{dX} \quad (4.1)$$

S – чувствительность ИП, определяется как отношение изменения сигнала на выходе ИП к вызвавшему его изменению измеряемой величины.

Графически чувствительность – это тангенс угла наклона касательной к статической характеристике.

Если статическая характеристика нелинейная, то его чувствительность будет различна в разных точках шкалы (шкала – неравномерная). СИ с линейной шкалой имеют равномерную шкалу и постоянное значение чувствительности.

У измерительных преобразователей статическая характеристика, как правило, линейная: $Y = kX$, где k – коэффициент преобразования (передачи).

Цена деления – разность между двумя соседними отметками шкалы.

Порог чувствительности - это наименьшее изменение значения измеряемой величины x , способное вызвать уверенно фиксируемое изменение показания y измерительного прибора или выходного сигнала преобразователя.

Все рассмотренные выше характеристики СИ принято называть метрологическими, так как они влияют на точность осуществляемых с помощью этих устройств измерений.

4.2.2 Класс точности и допускаемые погрешности.

Учет всех нормируемых метрологических характеристик средства измерений при оценивании погрешности результата измерений, как видно, сложная и трудоемкая процедура, оправданная при измерениях повышенной точности. При измерениях на производстве, в обиходе такая точность не всегда нужна. В то же время определенная информация о возможной инструментальной составляющей погрешности измерения необходима. Такая информация дается указанием класса точности средства измерений.

Класс точности – обобщенная метрологическая характеристика (МХ), определяемая пределами основной и дополнительных допускаемых погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющими на точность. Класс точности - величина безразмерная.

Классы точности присваивают средствам измерений при их разработке на основании исследований и испытаний представительной партии средств измерения данного типа. При этом пределы допускаемых погрешностей нормируют и выражают в форме абсолютных, приведенных или относительных погрешностей, в зависимости от характера изменения погрешностей в пределах диапазона измерений. Приведенной называется относительная погрешность, вычисленная в процентах от некоторого нормирующего значения. В качестве нормирующего обычно принимается конечное значение шкалы (верхний предел измерения для приборов с односторонней шкалой или сумма пределов - для приборов с нулем посередине).

Пределы допускаемой абсолютной погрешности устанавливают по формулам:

$$\Delta = \pm a \quad (4.2)$$

или

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (4.3)$$

где x - значение измеряемой величины;

a, b - положительные числа, не зависящие от x .

Нормирование в соответствии с (4.2) означает, что в составе погрешности средства измерения присутствуют аддитивная и мультипликативная составляющие.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности определяют по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta \cdot 100}{X_N} = \pm p\% , \quad (4.4)$$

где X_N - нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и x ;
 p - отвлеченное положительное число, выбираемое из стандартизованного ряда значений.

Для измерительных приборов с существенно неравномерной шкалой нормирующее значение устанавливают равным длине шкалы.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности:

а) если Δ установлена по формуле (4.2):

$$\delta = \frac{\Delta}{x} 100 = \pm q\% ; \quad (4.5)$$

б) если Δ установлена по (4.3):

$$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{X_K}{x} - 1 \right) \right] \% , \quad (4.6)$$

где q - отвлеченное положительное число, выбираемое из стандартизованного ряда значений;

X_K - больший по модулю из пределов измерений (верхний предел измерения, или сумма пределов измерения для приборов с нулем посередине);

c, d - положительные числа, выбираемые из стандартизованного ряда;

x - показание прибора.

Пределы допускаемых дополнительных погрешностей, как правило, устанавливают в виде долевого значения предела допускаемой основной погрешности. Обозначение классов точности наносится на шкалы, щитки или корпуса приборов.

Классы точности средств измерений обозначаются условными знаками (буквами, цифрами). Для средств измерений, пределы допускаемой основной погрешности которых выражают в форме приведенной погрешности или относительной погрешности в соответствии с (4.4) и (4.5), классы точности обозначаются числами, равными этим пределам в процентах. Чтобы отличить относительную погрешность от приведенной, обозначение класса точности в

виде относительной погрешности обводят кружком (2,5). Если погрешность

нормирована в процентах от длины шкалы, то класс точности обозначается цифрой (например, 1,5) или под обозначением класса ставится знак \vee . Если погрешность нормирована формулой (4.6), то класс точности обозначается как c/d (например, 0,02/0,01).

Пример - На шкале амперметра с пределами измерения 0 ... 10 А нанесено обозначение класса точности 2,5. Это означает, что для данного прибора нормирована приведенная погрешность. Подставляя в (4.4) $X_N = 10\text{А}$ и $p = 2,5$, получим $\Delta = \frac{X_N}{100} 2,5 = 0,25\text{ А}$.

Если бы обозначение класса точности было бы обведено кружком, то погрешность

следовало бы вычислить в процентах от измеренного значения. Так, при $I_{изм} = 2A$, погрешность прибора не должна превышать $\frac{2 \cdot 2,5}{100} = 0,05 A$.

Пределы допускаемых основной и дополнительных погрешностей устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений (СИ).

Средствам измерений присваивают классы точности, выбираемые из ряда (ГОСТ 136-68) $(1; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0) \cdot 10^n$; $n = 1; 0; -1; -2; \dots$

Конкретные классы точности устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ. Чем меньше число, обозначающее класс точности, тем меньше пределы допускаемой основной погрешности.

СИ с двумя или более диапазонами (или шкалами) могут иметь два или более класса точности.

4.3 Классификация погрешностей СИ

Классификация погрешностей СИ представлена на рисунке 4.4.

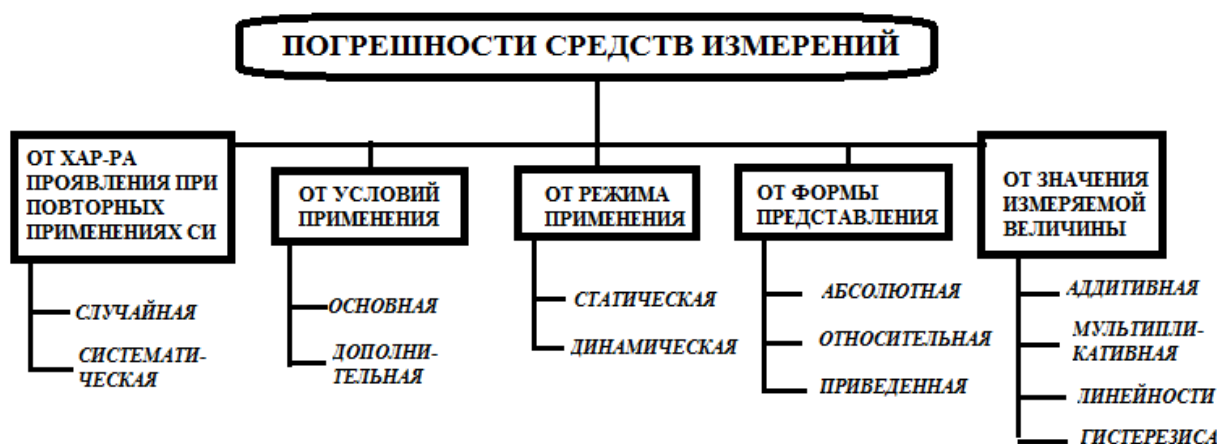


Рисунок 4.4 – Классификация погрешностей средств измерений

От характера проявления различают систематические и случайные составляющие погрешности СИ. Они имеют тот же смысл, что и систематические и случайные погрешности измерений (п.2.1);

От условий применения СИ различают следующие погрешности:

1) *основная погрешность СИ* - погрешность СИ, используемого в нормальных условиях (Н.У.). Под Н.У. применения СИ понимаются условия, при которых влияющие величины (температура окружающего воздуха, барометрическое давление, влажность, напряжение питания, частота тока и т.д.) имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений, а также определенное пространственное их положение, отсутствие вибрации, внешнего электромагнитного поля, кроме земного магнитного поля. Н.У. обычно не являются рабочими условиями применения СИ;

2) под пределом допускаемой *дополнительной погрешности* понимается наибольшая дополнительная погрешность, вызываемая изменением влияющей величины в пределах расширенной области значений (РОЗ), при которой средство измерений может быть признано годным и допущено к применению. В стандартах или технических условиях для каждого вида СИ устанавливают расширенную область значений влияющих величин, в пределах которой значение дополнительной погрешности не должно превышать установленных пределов. Терминам основная и дополнительная погрешности соответствуют фактические погрешности СИ, имеющие место при данных условиях;

От режима применения СИ различают следующие погрешности:

1) *статическая погрешность* – погрешность СИ, возникающая при использовании его для измерения постоянной величины;

2) *динамическая погрешность* – погрешность СИ, возникшая при использовании его для измерения переменной во времени величины.

От формы представления погрешности различают *абсолютную, относительную и приведенную* погрешности СИ.

Однако для *измерительного прибора и измерительного преобразователя* определение абсолютной, относительной и приведенной погрешностей специфично. У измерительного прибора имеется шкала, отградуированная в единицах входной величины, либо шкала, отградуированная в условных единицах с известным множителем, поэтому результат измерения представляется в *единицах входной величины*. Это обуславливает простоту определения погрешности измерительного прибора. У измерительного преобразователя результаты измерений представляются в *единицах выходной величины*. Поэтому различают погрешности измерительного преобразователя по входу и по выходу.

Абсолютная погрешность измерительного прибора – разность между показаниями прибора и действительным значением измеряемой величиной:

$$\Delta = X_n - X_{\text{действ}} \quad (4.7)$$

$X_{\text{действ}}$ определяется с помощью образцового прибора или воспроизводится мерой.

Относительная погрешность измерительного прибора – отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к действительному значению измеряемой величины:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_o} 100\% \quad (4.8)$$

Приведенная погрешность измерительного прибора - отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к нормирующему значению измеряемой величины:

$$\gamma = \frac{\Delta}{X_N} 100\% \quad (4.9)$$

В качестве нормирующего значения используется верхний предел измерения или диапазон измерений измерительного прибора.

При определении погрешностей измерительного преобразователя (ИПр) известны следующие величины: X_δ - действительное значение величины на входе Ипр, которое воспроизводится мерой или определяется с помощью образцового СИ на входе. Y_n - значение величины на выходе Ипр, определяется с помощью образцового средства на выходе; $Y = f(X)$ - функция преобразования измерительного преобразователя; $X = \varphi(Y)$ - обратная функция преобразования измерительного преобразователя.

Абсолютная погрешность измерительного преобразователя по выходу – разность между действительным значением величины на выходе измерительного преобразователя, отображающей измеряемую величину, и значением величины на выходе, определяемым по действительному значению величины на входе с помощью градуировочной характеристики, приписанной измерительному преобразователю:

$$\Delta_{ИП\text{ вых}} = Y_n - Y_\delta = Y_n - f(X_\delta), \quad (4.10)$$

Y_n, Y_δ определяются при одном значении входной величины.

Абсолютная погрешность измерительного преобразователя по входу – разность между значением величины на входе измерительного преобразователя, определяемым по действительному значению величины на его выходе с помощью градуировочной характеристики, приписанной преобразователю, и действительным значением величины на входе преобразователя:

$$\Delta_{ИП\text{ вх}} = X_n - X_\delta = \varphi(Y_\delta) - X_\delta. \quad (4.11)$$

Относительная погрешность измерительного преобразователя по входу:

$$\delta_x = \frac{\Delta_x}{X_\delta} 100\% = \frac{\varphi(Y_n) - X_\delta}{X_\delta} 100\%. \quad (4.12)$$

Относительная погрешность измерительного преобразователя по выходу:

$$\delta_y = \frac{\Delta_y}{y_\delta} 100\% = \frac{Y_n - f(X_\delta)}{f(X_\delta)} 100\%. \quad (4.13)$$

Приведенная погрешность измерительного преобразователя по входу:

$$\gamma_x = \frac{\Delta_x}{X_N} 100\%. \quad (4.14)$$

Приведенная погрешность измерительного преобразователя по выходу:

$$\gamma_y = \frac{\Delta_y}{Y_N} 100\%. \quad (4.15)$$

В качестве нормирующего значения X_N , Y_N используется диапазон измерений преобразователя ($X_e - X_n$) или соответствующий ему диапазон измерений выходного сигнала ($Y_e - Y_n$);

От значения измеряемой величины различают аддитивные, мультипликативные погрешности, погрешности линейности и гистерезиса.

Для рассмотрения этой зависимости удобно использовать понятие *номинальной и реальной функции преобразования*.

Номинальная функция преобразования указана в паспорте на СИ. *Реальная функция преобразования* – функция, которой обладает конкретный экземпляр СИ данного типа. Отклонения реальной функции преобразования от номинальной различны и зависят от значения измеряемой величины. Эти отклонения и определяет погрешность данного СИ.

Аддитивная погрешность или погрешность нуля СИ – погрешность, которая *остается постоянной при всех значениях измеряемой величины* (рисунок 4.5).

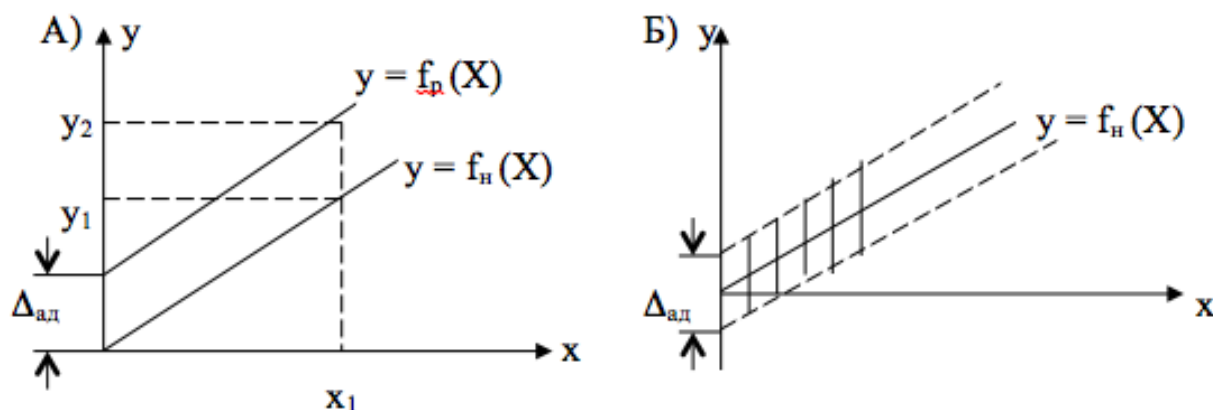


Рисунок 4.5 – График аддитивной погрешности СИ
(А - систематической, Б – случайной)

Если аддитивная погрешность является систематической, то она может быть удалена (например, коррекция нуля). Если аддитивная погрешность – случайная величина, то ее исключить нельзя, и реальная функция преобразования смещается по отношению к номинальной произвольно во времени. Для реальной функции можно выделить полосу, ширина которой остается постоянной при всех значениях измеряемой величины.

Источники случайной аддитивной погрешности – трение в опорах, дрейф нуля, шум (фон) СИ.

Мультипликативная погрешность или погрешность чувствительности СИ – погрешность, которая линейно возрастает (или убывает) с увеличением измеряемой величины (рисунок 4.6).

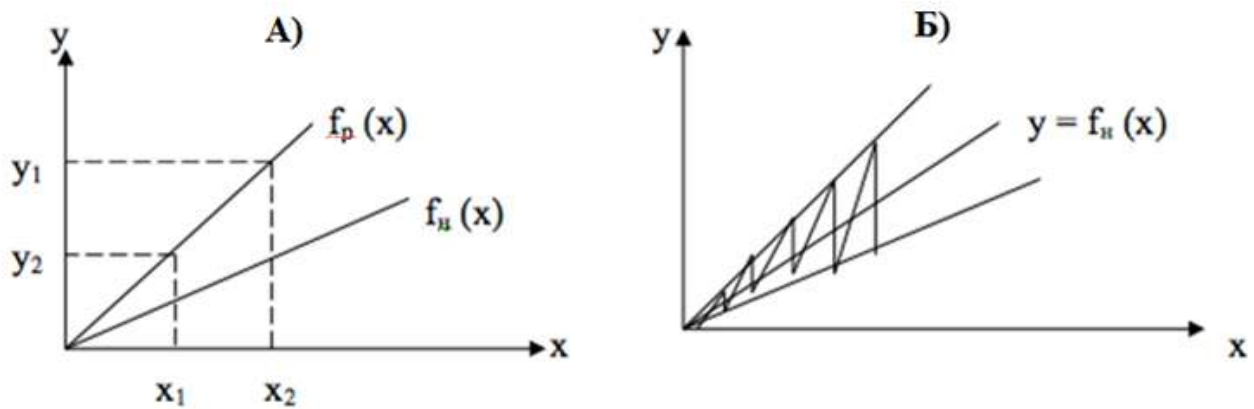


Рисунок 4.6 – График мультипликативной погрешности СИ
(А - систематической, Б – случайной)

Источники мультипликативной погрешности – изменение коэффициента преобразования отдельных элементов и узлов СИ.

Погрешность линейности – погрешность, появляющаяся тогда, когда отличие реальной функции преобразования от номинальной вызвано нелинейными эффектами (рисунок 4.7).

Источники погрешности линейности – конструкция (схема) СИ, нелинейные искажения функции преобразования, связанные с несовершенством технологии производства схем.

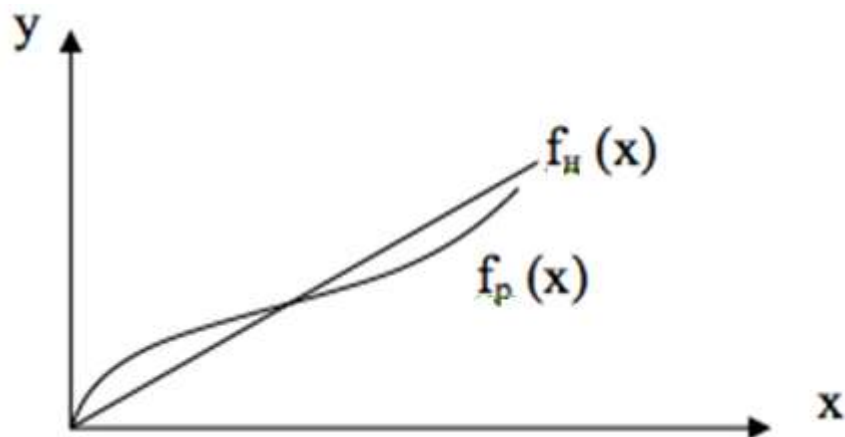


Рисунок 4.7 – График погрешности линейности СИ

Погрешность гистерезиса – погрешность обратного хода (погрешность запаздывания) (рисунок 4.8). Это наиболее существенная и трудноустраняемая погрешность СИ, выражающаяся в несовпадении реальной функции преобразования при увеличении (прямой ход) и уменьшении (обратный ход) измеряемой величины.

Причины гистерезиса – люфт, сухое трение в механических передающих элементах, гистерезисный эффект в ферромагнитных материалах, внутреннее трение в материалах пружин, явление поляризации в элементах, пьезоэлементах, электрохимических элементах.

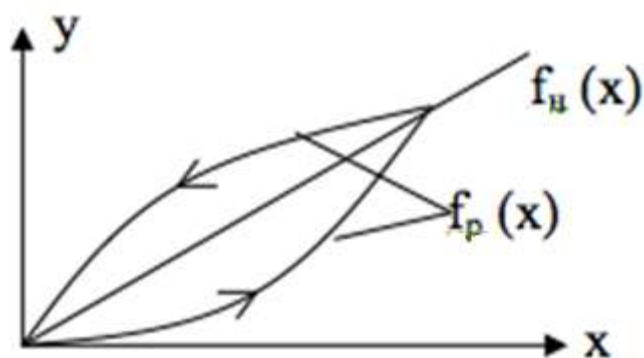


Рисунок 4.8 – График погрешности гистерезиса СИ

СИ допускается к применению только в том случае, если установлены нормы на их метрологические характеристики. Сведения о нормированных метрологических характеристиках приводятся в технической документации на средства измерения.

4.4 Определение суммарной погрешности измерительного канала

Обычно информационно-измерительные системы содержат несколько измерительных каналов (ИК), которые, в свою очередь, состоят из ряда последовательно соединенных средств измерений: датчиков, нормирующих преобразователей, вторичных приборов, УСО ЭВМ и т.д.

Представим выбранный измерительный канал в виде структурной схемы (рисунок 4.9).

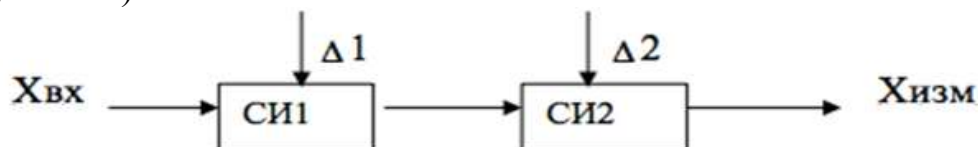


Рисунок 4.9 – Структурная схема измерительного канала

На данном рисунке СИ1, СИ2 – средства измерения, входящие в измерительный канал; $\Delta 1$, $\Delta 2$ – погрешности СИ, приведенные к их выходу.

Определение погрешностей ИК сводится к расчету суммарного действия погрешностей всех СИ, входящих в ИК [15].

Для суммирования погрешностей необходимо, чтобы они были представлены своими *среднеквадратическими отклонениями* (СКО), а не предельными значениями, т.к. при этом открывается возможность для суммирования любого числа составляющих погрешностей. Для решения этих задач необходимо установить соотношения между СКО и погрешностью однократного наблюдения, определяемого по классу точности.

4.4.1 Погрешности средств измерений и их нормирование.

Для расчета оценки инструментальной составляющей погрешности измерений необходимо знать метрологические характеристики СИ. Традиционно нормированные метрологические характеристики (НМХ) СИ

нормируются в виде пределов основной и дополнительных допускаемых погрешностей и связанного с ними понятия класса точности.

Наибольшее распространение в технологических измерениях получила форма представления класса точности через приведенные погрешности (формула (4.9)).

В этом случае класс точности в нормативно-технической документации на СИ обозначается числом, равным приведенной погрешности, выраженной в процентах.

Как известно, для оценки результата измерений при многократных наблюдениях и его погрешности измерений используется математический аппарат теории вероятности.

Поскольку погрешности Δ_i отдельных СИ являются случайными величинами, то вычисление суммарной погрешности ИК простым арифметическим сложением составляющих Δ_i делать нельзя, т.к. это дает чрезвычайно завышенное значение суммарной погрешности. Кроме того, при суммировании погрешностей *следует учитывать наличие корреляционных связей* между отдельными погрешностями. Учитывая эти обстоятельства для целей суммирования, погрешность СИ, входящего в ИК, должна быть представлена своим СКО. Так $\sigma[\Delta_i]$ – СКО абсолютной погрешности i -го средства измерения (в данной работе $i=2$):

$$\sigma[\Delta_i] = \frac{\Delta_i}{k}, \quad (4.16)$$

где k – квантильный множитель, величина которого определяется принятым законом распределения основной погрешности СИ и значением доверительной вероятности.

Кроме того, для удобства суммирования аддитивных и мультипликативных составляющих погрешностей СКО следует представлять не в абсолютном, а в относительном виде. Так СКО относительной погрешности i -го средства измерения равно:

$$\sigma[\delta_i] = \frac{\sigma[\Delta_i]}{X} 100\% \quad , \quad (4.17)$$

где X - измеряемая величина.

Согласно теории вероятностей, СКО суммы погрешностей определяются выражением:

$$\sigma[\delta_\Sigma] = \sqrt{\sigma^2[\delta_1] + 2\rho\sigma[\delta_1]\sigma[\delta_2] + \sigma^2[\delta_2]} \quad , \quad (4.18)$$

где ρ - коэффициент корреляции.

Если погрешности средств измерений, входящих в измерительный канал, не коррелированы, то $\rho = 0$ и формула (4.18) примет вид:

$$\sigma[\delta_\Sigma] = \sqrt{\sigma^2[\delta_1] + \sigma^2[\delta_2]} \quad . \quad (4.19)$$

Если погрешности средств измерений жестко коррелированы, например, одинаково зависят от какого-либо влияющего параметра, то $\rho = 1$, тогда (4.18) примет вид:

$$\sigma[\delta_{\Sigma}] = \sqrt{\sigma^2[\delta_1] + 2\sigma[\delta_1]\sigma[\delta_2] + \sigma^2[\delta_2]} = \sigma[\delta_1] + \sigma[\delta_2] . \quad (4.20)$$

Таким образом, жестко коррелированные погрешности складываются не геометрически, а алгебраически. Если коэффициент корреляции имеет отрицательный знак, то погрешности будут вычитаться.

4.4.2 Практические правила расчета суммарной погрешности ИК.

4.4.2.1 Исходными данными для расчета должны быть характеристики погрешностей СИ: Δ_i - абсолютная погрешность каждого средства измерения, входящего в ИК.

4.4.2.2 Значения СКО погрешностей измерения СИ должны быть представлены сначала в абсолютных (4.16), а затем в относительных величинах по формуле (4.17).

4.4.2.3 По степени коррелированности погрешности следует разделить на два вида:

- сильно коррелированные $\rho = 0,7 - 1,0$;
- слабо коррелированные $\rho < 0,7$.

4.4.2.4 Сильно коррелированные погрешности суммируются по формуле (4.20), остальные по формуле (4.19).

4.4.2.5 Группу сильно коррелированных погрешностей суммируют с остальными по формуле (4.20).

4.4.2.6 Доверительный интервал, в котором с вероятностью P находится суммарная относительная погрешность ИК, принимается равным:

$$\delta_{ик} = k\sigma[\delta_{\Sigma}] , \quad (4.21)$$

где k - квантильный множитель;

$\sigma[\delta_{\Sigma}]$ - СКО относительной суммарной погрешности ИК (4.18).

4.4.2.7 Доверительный интервал, в котором с вероятностью P находится суммарная абсолютная погрешность ИК, принимается равным:

$$\Delta_{ик} = \frac{X}{100} \delta_{ик} . \quad (4.22)$$

4.4.2.8 Результат измерения представить в виде (3.12).

4.5 Контрольные вопросы

4.5.1 Дать определение «Средства измерений».

4.5.2 Что такое мера?

4.5.3 Разновидности мер.

4.5.4 Классификация средств измерений.

4.5.5 Дать определение «Измерительный прибор».

4.5.6 Дать определение «Измерительный преобразователь».

4.5.7 Дать определение «Унифицированные СИ».

- 4.5.8 Что означает аббревиатура ГСП?
- 4.5.9 Категории СИ в зависимости от назначения.
- 4.5.10 Дать определение «Рабочие СИ»
- 4.5.11 Виды рабочих СИ.
- 4.5.12 Дать определение «Эталон».
- 4.5.13 Виды эталонов.
- 4.5.14 Где хранятся Международные эталоны?
- 4.5.15 Международное бюро мер и весов (МБМВ). Задачи МБМВ.
- 4.5.16 Где поверяются рабочие СИ?
- 4.5.17 Когда и где официально были утверждены Самые первые эталоны?
- 4.5.18 Определение метрологических характеристик СИ
- 4.5.19 Какие метрологические характеристики называются нормируемыми, какие действительными?
- 4.5.20 Номенклатура метрологических характеристик СИ.
- 4.5.21 Группы метрологических характеристик.
- 4.5.22 Какие параметры входного сигнала называются неинформативным?
- 4.5.23 Дать определение нормальным условиям эксплуатации СИ.
- 4.5.24 Дать определение рабочим условиям эксплуатации СИ.
- 4.5.25 Основные метрологические характеристики СИ.
- 4.5.26 Определение статического (стационарного) режима работы СИ.
- 4.5.27 Определение статической характеристики СИ.
- 4.5.28 Определение диапазона показаний.
- 4.5.29 Определение диапазона измерений.
- 4.5.30 Что такое чувствительность ИП?
- 4.5.31 Дать определение «Цена деления».
- 4.5.32 Дать определение «Порог чувствительности».
- 4.5.33 Класс точности и допускаемые погрешности.
- 4.5.34 Дать определение абсолютных, приведенных или относительных погрешностей.
- 4.5.35 Классификация погрешностей СИ.
- 4.5.36 Виды погрешностей СИ от характера проявления.
- 4.5.37 Виды погрешностей от условий применения СИ.
- 4.5.38 Виды погрешностей от режима применения СИ.
- 4.5.39 Виды погрешностей СИ от формы представления.
- 4.5.40 Виды погрешностей СИ от значения измеряемой величины.
- 4.5.41 Что такое номинальная функция преобразования СИ и как ее найти?
- 4.5.42 Формула СКО абсолютной погрешности i - го средства измерения.
- 4.5.43 Формула СКО относительной погрешности i - го средства измерения.
- 4.5.44 Практические правила расчета суммарной погрешности ИК.

5 Стандартизация и подтверждение соответствия

5.1 Основы стандартизации

Основы стандартизации зародились с началом промышленной революции, которая началась в развитых странах Европы в конце 18 века, начале 19-го века. Появление крупных фабрик и заводов, выпускавших товары и изделия большими партиями, требовало наведения порядка в размерной дисциплине, единообразия продукции, взаимозаменяемости.

В России еще при Петре 1 в 1715 г. были предприняты попытки внедрения размерной дисциплины в производство огнестрельного оружия на Тульских заводах (калибры, взаимозаменяемость) [8].

В 1856 г. в Лондоне на очередном Международном съезде деятелей промышленности один из участников съезда поставил вопрос: «Нельзя ли добиться того, чтобы любая свеча всегда соответствовала гнезду подсвечника так, чтобы оно было не слишком маленькое и не слишком большое по диаметру?»[11].

В СССР первые Государственные стандарты на продовольственные товары (животное масло для экспорта, хлеб, соль, растительное масло, сельдь, этиловый спирт, вино) были утверждены в 1926 г. Первые государственные стандарты сыграли важную роль в улучшении качества продовольственных товаров. В период с 1955 по 1960 г. было пересмотрено более 200 стандартов. С 1975 г. стали внедряться международные стандарты СЭВ (Совет Экономической Взаимопомощи, в его состав входили помимо СССР страны социалистического лагеря), соответствовавшие международным стандартам ИСО [17].

С развитием крупного промышленного производства необходимость в глобальной стандартизации возрастает и становится необходимым элементом дальнейшего развития экономики и процветания любого государства. В качестве примера можно привести несоответствие стандартов стран СНГ, Европейского Союза и Китая на ширину железнодорожной колеи. В СНГ ширина колеи – 1520 мм, в Европе и Китае – 1435 мм. Эта несостыковка стандартов приводит к колоссальным непроизводственным расходам, задержкам железнодорожных составов на приграничных станциях, повышению издержек перевозок [17].

Применение разных физических единиц измерения наносит огромные убытки экономикам стран. Например, в США применяется устаревшая Британская система единиц измерения, хотя в самой Великобритании она применяется мало. Конструкторская документация, изделия промышленности, выпущенные в США для внутреннего потребления, не подходят без предварительной адаптации для потребителей в странах, использующих систему измерения СИ и наоборот.

Стандартизация является одной из важнейших составляющих процесса технического регулирования.

Стандартизация – это деятельность, направленная на разработку и

установление требований, норм, правил, характеристик, как обязательных для выполнения, так и рекомендуемых [5]. Она должна обеспечивать право потребителя на использование товаров, изделий и услуг надлежащего качества, безопасных в обращении и удобных в использовании.

Основные результаты деятельности по стандартизации – повышение степени соответствия продукта, услуги, процесса их функциональному назначению, устранение технических барьеров в международном товарообмене, содействие научно - техническому прогрессу и сотрудничеству в различных областях.

Цель стандартизации – достижение оптимальной степени упорядочения в какой-либо области деятельности посредством широкого и многократного использования установленных положений, требований, норм для решения существующих, планируемых или потенциальных задач [5].

Цели стандартизации: 1) общие цели; 2) конкретные цели.

Общие цели вытекают из содержания понятия стандартизации. Общие цели связаны с выполнением тех требований стандартов, которые являются обязательными: разработка норм, требований и правил, обеспечивающих:

- безопасность продукции, работ, услуг для жизни и здоровья людей, окружающей среды и имущества;
- совместимость и взаимозаменяемость изделий;
- качество продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития научно-технического прогресса;
- единство измерений;
- экономию всех видов ресурсов;
- безопасность хозяйственных объектов, связанную с возможностью возникновения различных катастроф и чрезвычайных ситуаций;
- обороноспособность и мобилизационную готовность страны.

Конкретные цели относятся к определенной области деятельности, отрасли производства товаров и услуг, тому или другому виду продукции, предприятию и т.п.

Объект стандартизации – продукция, производство, процесс, услуга, для которых разрабатывают требования, характеристики, параметры, правила и т.п.

Область стандартизации – совокупность взаимосвязанных объектов стандартизации.

Уровни стандартизации зависят от того, участники какого географического, экономического, политического региона мира принимают стандартизацию: административно-территориальную стандартизацию; национальную стандартизацию; региональную стандартизацию; международную стандартизацию.

Стандартизация осуществляется на разных *уровнях*: международном, региональном, национальном, административно - территориальном.

Действующая в настоящее время система стандартизации на первое место ставит оценку качества объекта стандартизации и методов его оценки.

5.2 Нормативные документы по стандартизации и виды стандартов

В процессе стандартизации вырабатываются нормы, правила, требования, характеристики, касающиеся объекта стандартизации, которые оформляются в виде нормативного документа.

Руководство международных организаций по стандартизации ИСО/МЭК рекомендует следующие *виды нормативных документов (НД)*: стандарты, документы технических условий, своды правил, регламенты (технические регламенты), положения.

Стандарт (СТ) – это нормативный документ, разработанный на основе соглашения, утвержденного признанным органом и направленный на достижение оптимальной степени упорядочения в определенной области [5].

В стандарте устанавливают для всеобщего и многократного использования общие принципы, правила, характеристики, касающиеся различных видов деятельности или их результатов. Стандарт должен быть основан на обобщенных результатах научных исследований, технических достижений и практического опыта.

Технические условия (ТУ) устанавливают технические требования к продукции, услуге, процессу. В ТУ должны быть указаны методы или процедуры, которые следует использовать для проверки соблюдения требований нормативного документа,

Свод правил (СП) разрабатывается для процессов проектирования, монтажа оборудования, технического обслуживания или эксплуатации оборудования.

Все указанные выше документы имеют рекомендательный характер, то есть их выполнение не обязательно.

Для того чтобы нормативный документ стал обязательным к выполнению, он должен войти в регламент.

Регламент (Р) – это документ, в котором содержатся правила, *обязательные к исполнению*. Регламент принимает орган власти, например, Правительство, а не орган по стандартизации. В регламенте обычно перечисляются стандарты, технические условия и т.д., выполнение которых становится обязательным на территории государства для всех хозяйствующих субъектов.

Виды стандартов – основополагающий, терминологический, на методы контроля, на продукцию, на процесс, на услугу, на совместимость, на положение, методические положения, описательные положения, с открытыми значениями.

Основополагающий стандарт – нормативный документ, содержащий общие или руководящие положения для определенной области. Обычно он используется либо как стандарт, либо как методический документ, на основе которого могут разрабатываться другие стандарты. В качестве примера основополагающих стандартов можно назвать СТ РК 1.0-2000 – Государственная система стандартизации Республики Казахстан.

Терминологический стандарт – нормативный документ, содержащий

определения терминов, примеры их применения и т.д.

Стандарт на продукцию – нормативный документ, содержащий требования к продукции, которые обеспечивают соответствие продукции ее назначению. Данный стандарт может быть полным или неполным. Полный стандарт на продукцию устанавливает также правила отбора образцов для испытаний, порядок проведения испытаний и т.д. Неполный стандарт на продукцию содержит часть требований к продукции (например, только требования к правилам поставки и др.).

Стандарт на процесс (услугу) – нормативный документ, содержащий требования соответственно к процессу (например, к технологии производства) или услуге (например, оказание услуг в области автотранспорта, банковского обслуживания, образования и т.д.).

Стандарт на совместимость – нормативный документ, устанавливающий требования к совместимости как продукта в целом, так и его отдельных частей. Данный вид стандарта может быть разработан на целую систему (например, на системы очистки воздуха, системы сигнализации и др.).

Стандарт с открытыми значениями – нормативный документ, содержащий перечень характеристик, которые конкретизируются в договорных отношениях (так как в некоторых ситуациях требования определяются поставщиками, а в других – потребителями).

Методическое положение – нормативный документ, содержащий методику, способ осуществления процесса, операции, с помощью которой можно достичь соответствия требованиям нормативного документа.

Описательное положение – нормативный документ, содержащий описание конструкции, состава исходных материалов, размеров деталей и частей изделия.

Казахстанская система стандартизации опирается на международный опыт, на приближение к международным правилам, нормам и практике стандартизации.

Нормативные документы по стандартизации в Республике Казахстан установлены Законом «О техническом регулировании» (2004 год):

- 1) государственные стандарты РК – СТ РК;
- 2) государственные классификаторы технико-экономической информации – ГК ТЭИ;
- 3) межгосударственные стандарты – ГОСТ, в основном, это стандарты СССР, которые действуют до сих пор, если они не противоречат законодательству РК и развитию науки и техники;
- 4) применяемые в соответствии с правовыми нормами международные, региональные и национальные стандарты, классификаторы технико-экономической информации, технические условия, правила, нормы и рекомендации по стандартизации;
- 5) стандарты научно - технических, инженерных обществ и других общественных объединений;

- 6) рекомендации по стандартизации;
- 7) стандарты организаций (фирменные стандарты);
- 8) технические условия.

Государственные стандарты содержат требования к продукции, работам и услугам, потребности в которых имеют республиканский характер. Эти стандарты принимает Госстандарт Казахстана. В государственных стандартах содержатся обязательные и рекомендательные требования.

К обязательным требованиям относятся:

- безопасность продукта, услуги, процесса для здоровья человека, окружающей среды, имущества, а также производственная безопасность и санитарные нормы,
- техническая и информационная совместимость и взаимозаменяемость изделий,
- единство методов контроля и единство маркировки.

К рекомендательным требованиям относятся:

- основные потребительские характеристики продукции и методы их контроля;
- требования к упаковке, транспортировке, хранению и утилизации продукта;
- правила и нормы, касающиеся разработки производства и эксплуатации;
- правила оформления технической документации.

Стандарты организаций разрабатываются и применяются предприятием для внутреннего пользования.

Стандарты общественных объединений (научно-технических обществ, инженерных обществ и т.д.) разрабатываются на принципиально новую продукцию, процессы или услуги, передовые методы испытаний, нетрадиционные технологии и способы управления производством.

Кроме стандартов, нормативными документами являются также правила стандартизации (ПР), рекомендации по стандартизации (РС) и технические условия (ТУ). Особое требование предъявляется к нормативным документам на продукцию, которая согласно казахстанскому законодательству подлежит обязательной сертификации.

5.3 Международная стандартизация

Первая международная организация по общей стандартизации – Международная ассоциация национальных организаций по стандартизации была создана в 1926 Г, но с началом мировой войны в 1939 г. она распалась.

Международная организация по стандартизации, существующая в настоящее время, ИСО была создана в 1946 г. 25-тью странами. Официальные языки ИСО английский, французский и русский. Сфера деятельности ИСО касается стандартизации во всех областях, кроме электротехники и электроники. Стандартизацией в этих областях занимается Международная электротехническая комиссия (МЭК). Некоторые работы проводятся

совместно ИСО и МЭК.

Задачи ИСО: содействие развитию стандартизации и смежных видов деятельности в мире с целью обеспечения международного обмена товарами и услугами, а также развитие сотрудничества в интеллектуальной, научно-технической и экономической областях. В настоящее время в ИСО входит более 140 стран мира, в ее составе имеется более 200 комитетов.

Высшим руководящим органом ИСО является Генеральная ассамблея, которая проводится раз в три года. Непосредственное руководство ИСО осуществляет Совет ИСО. Основная координирующая работа проводится в 7 основных комитетах: СТАКО – комитет по изучению научных принципов по стандартизации, ПЛАКО – техническое бюро, КАСКО – комитет по оценке соответствия, ИНФКО – комитет по научно-технической информации, ДЕВКО – комитет по оказанию помощи развивающимся странам, КОПОЛКО – комитет по защите интересов потребителей, РЕМКО – комитет по стандартным образцам.

Непосредственную работу по созданию международных стандартов ведут технические комитеты и подкомитеты, которые могут учреждать рабочие группы. ИСО разработало более 12000 стандартов, ежегодно разрабатывается и пересматривается 500 - 600 стандартов. На русский язык переведено более 70% всех стандартов. ИСО поддерживает связи с более 500 международными организациями, в том числе со всеми специализированными агентствами ООН.

Стандарты ИСО не имеют статуса обязательных. Любая страна имеет право применять их или не применять. В Казахстане применяют около половины стандартов ИСО. Только 20% стандартов имеют требования к конкретной продукции. Основная масса стандартов относится к вопросам безопасности, взаимозаменяемости, технической совместимости, методов испытания продукции и общих методологических вопросов.

Международная электротехническая комиссия (МЭК) была создана в 1904 г. и является первой отраслевой международной организацией по стандартизации. Она занимается стандартизацией в области электротехники, электроники, радиосвязи, приборостроения.

Национальные комитеты всех стран-участниц образуют Совет высший руководящий орган МЭК. Основной координирующий орган МЭК – Комитет действия. Он выявляет необходимость развития новых направлений работы, разрабатывает методические документы, участвует в решении вопросов сотрудничества с другими организациями, выполняет задания Совета. Стандарты МЭК можно разделить на два вида – общетехнические, носящие межотраслевой характер, и технические, включающие требования к конкретной продукции. Ежегодно МЭК рассматривает более 500 тем по международной стандартизации. МЭК принял более 2000 стандартов. Эти стандарты более конкретны, чем стандарты ИСО.

МЭК совместно с ИСО разрабатывает Руководства ИСО/МЭК и директивы ИСО/МЭК по актуальным вопросам стандартизации, серти-

фикации, аккредитации испытательных лабораторий и методическим вопросам.

Европейская экономическая комиссия ООН (ЕЭК ООН) ставит своей главной задачей в области стандартизации разработку направлений политики в области стандартизации на правительственном уровне и определение приоритетов в этой сфере. ЕЭК ООН взаимодействует с ИСО и МЭК в решении проблем национальной стандартизации во всех странах мира.

Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) Содружества Независимых Государств (СНГ) является межправительственным органом СНГ по формированию и проведению согласованной политики по стандартизации, метрологии и сертификации.

МГС создан в соответствии с «Соглашением о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации» от 13 марта 1992 г. для координации работ в области стандартизации, метрологии и сертификации, определения основных направлений межгосударственной стандартизации, метрологии, сертификации и аккредитации в указанных областях деятельности. МГС принимает межгосударственные стандарты.

Высшим органом МГС является заседание членов МГС, которое проводится два раза в год поочередно в государствах – участниках Соглашения. Между заседаниями руководство работой Совета осуществляет Председатель. Функции председателя МГС выполняют поочередно руководители национальных органов по стандартизации, метрологии и сертификации.

Рабочим органом МГС является Бюро по стандартам в составе группы экспертов и регионального Информационного центра. При Совете создано более 230 межгосударственных технических комитетов по стандартизации.

В 1995 г. МГС признан Международной организацией по стандартизации (ИСО) – Региональной Организацией по стандартизации как *Евразийский Совет по стандартизации, метрологии и сертификации (EASC)*.

Деятельность МГС осуществляется в соответствии с «Положением о Межгосударственном Совете по стандартизации метрологии и сертификации».

Организация и проведение работ по межгосударственной стандартизации осуществляется в соответствии с «Правилами процедуры Межгосударственного Совета по стандартизации метрологии и сертификации».

Европейский Союз. Основными принципами европейской системы стандартизации являются независимость и сотрудничество с органами власти. В отличие от американской, европейская система стандартизации характеризуется упорядоченностью и организованностью.

В Европе функционируют три организации по стандартизации ETSI, CEN и CENЭЛЕК, все они являются частными.

Европейская система основана на требованиях нового подхода к стандартизации и технической регламентации, принятого в 1985 г. Советом Европейского Союза. В соответствии с ним деятельность государства в области стандартизации заключается в контроле за выполнением основных

требований к охране здоровья или безопасности при поставке на рынок промышленных товаров. Роль добровольных стандартов сводится к решению технических проблем для обеспечения соблюдения данных требований. Для этого Европейская комиссия подписала с европейскими организациями по стандартизации Меморандум о взаимопонимании (1984 г.). В соответствии с ним Европейская комиссия обязалась не разрабатывать собственные технические требования.

Также европейская система выполняет и внешние функции, способствуя устранению технических барьеров в европейской торговле. Для европейской системы характерно обеспечение преимущественного положения европейской стандартизации по сравнению с национальной. В соответствии с этим принципом национальная организация обязала воздержаться от разработки собственного стандарта, если в данной области ведутся работы на общеевропейском уровне. Также все национальные организации Европы принимают общеевропейские стандарты и отменяют собственные разработки при выявлении расхождений с европейскими.

США. Отличительной особенностью американской системы стандартизации является широта охвата с учетом отраслевой специфики.

Американская система распределена по промышленным отраслям и поддерживается многочисленными организациями по стандартизации как частными, так и государственными. Американские стандарты разрабатывались по отдельным отраслям в ответ на конкретные запросы промышленных предприятий и органов государственной власти.

В течение более ста лет американская стандартизация развивалась по инициативе частного сектора без вмешательства со стороны государства. Главной задачей при внедрении стандартов была и остается разработка технических требований на продукцию, технологические процессы и системы.

В 1918 году частными организациями по стандартизации была создана федерация партнеров – *Американский национальный институт стандартов (ANSI)*, главной задачей которого стала координация деятельности в области стандартизации.

ANSI – негосударственная организация, в состав которой входят около 700 фирм, 30 правительственных органов, 20 институтов и 260 профессиональных, технических, коммерческих и промышленных организаций. Деятельность ANSI финансируется за счет членских взносов и доходов от продажи документации.

Разработкой стандартов в США занимаются около 600 организаций. Система стандартизации носит добровольный характер, и соответствие стандартам не является обязательным.

Особую роль играют профессиональные ассоциации (их около 300). Среди них такие крупные, как Ассоциация авиационно-космической промышленности, Объединение электронных отраслей промышленности, в состав которых входят организации производителей, поставщиков,

заказчиков, представителей сферы услуг и предприятий, работающих в этих отраслях промышленности. Все они имеют общие коммерческие интересы и вместе разрабатывают стандарты на свою продукцию.

Федеральное правительство США не финансирует и не руководит деятельностью организаций по стандартизации, но при поддержке частного сектора принимает участие в добровольной стандартизации в качестве покупателя и активного участника разработки технических стандартов. Также федеральное правительство следит за тем, чтобы процесс стандартизации отражал национальные интересы.

Несмотря на некоторую сложность американской системы стандартизации, она продолжает доказывать свою эффективность, помогая производителям проектировать, изготавливать и реализовывать продукцию, своевременно удовлетворять запросы промышленности, правительства и потребителей.

Российская Федерация. Сейчас основной задачей стандартизации в России является развитие и поддержание нормативной базы, которая обеспечивали бы разработку, производство и потребление высококачественной, безопасной и конкурентоспособной продукции.

В 1998 году Госстандарт России принял новую Концепцию национальной системы стандартизации. Исходя из этой концепции, функция стандартов предусматривает такой уровень показателей качества и безопасности продукции, который соответствует современным требованиям санитарии, гигиены, обеспечивает охрану окружающей среды и безопасность людей и их имущества.

Правовой статус Госстандарта России (Комитет Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации) закреплен Законом «О стандартизацию».

Госстандарт России наделен правом установления общих, т.е. единых для всей страны организационно-технических правил проведения всех видов работ по стандартизации. Для этого Госстандартом России принят комплекс основополагающих государственных стандартов ГСС РФ: ГОСТ Р 1.0-92 «ГСС РФ. Основные положения», ГОСТ Р 1.2-92 «ГСС РФ. Порядок разработки государственных стандартов», ГОСТ Р 1.4-93 «ГСС РФ. Стандарты отраслей, стандарты предприятий, стандарты научно-технических, инженерных обществ и других общественных объединений», ГОСТ Р 1.5-92 «ГСС РФ. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов». ГОСТ Р 1.8-95 «ГСС РФ. Порядок разработки и применения межгосударственных стандартов», ГОСТ Р 1.10-95 «ГСС РФ. Порядок разработки, принятия, регистрации правил и рекомендаций по стандартизации, метрологии, сертификации и информации о них».

Госстандартом России на территории всех субъектов Федерации и в крупных промышленных центрах созданы территориальные органы Госстандарта России (центры стандартизации, сертификации и метрологии) – Ростест - Москва, Тест – Санкт-Петербург и др.

5.4 Стандартизации в Республике Казахстан. Закон «О техническом регулировании»

Правовые основы стандартизации в РК установлены законом «О техническом регулировании» [5], принятым 9 ноября 2004 г., который полностью заменил законы РК «О стандартизации» и «О сертификации», просуществовавшие с 1999 г.

Положения Закона «О техническом регулировании» обязательны к выполнению всеми государственными органами, субъектами хозяйственной деятельности независимо от формы собственности, общественными организациями.

Закон определяет меры государственной защиты интересов потребителей и государства через требования, правила, нормы, имеющиеся в государственных стандартах и государственный контроль за их соблюдением.

Закон регламентирует:

- 1) организацию работ по стандартизации;
- 2) содержание и применение нормативных документов по стандартизации;
- 3) информационное обеспечение работ по стандартизации;
- 4) организация и правила проведения государственного контроля и надзора за соблюдением требований государственных стандартов;
- 5) финансирование работ по государственной стандартизации, контролю и надзору;
- 6) стимулирование применения государственных стандартов;
- 7) ответственность за нарушение положений закона.

В соответствии с Законом в РК действует Государственная система стандартизации (ГСС), которая обеспечивает и поддерживает в рабочем состоянии единый технический язык, унифицированные ряды важнейших технических характеристик продукции, систему строительных норм и правил, типоразмерные ряды и типовые конструкции изделий для машиностроения и строительства, систему классификации технико-экономической информации, достоверные справочные данные о свойствах материалов и веществ.

Согласно Руководству 2 ИСО/МЭК, деятельность по стандартизации осуществляют соответствующие органы и организации. Под органом, занимающимся стандартизацией, подразумевается орган, деятельность которого в области стандартизации признана на национальном, региональном или международном уровнях. Основные функции такого органа – разработка и утверждение нормативных документов, доступных широкому кругу потребителей. Однако он может выполнять немало других функций, что особенно характерно для национального органа по стандартизации.

Национальным органом по стандартизации в Казахстане является *уполномоченный орган*.

Государственный фонд стандартов содержит около 32 тыс. нормативных

документов, из них 19 тыс. межгосударственных, около 3 тыс. международных и около десяти тысяч национальных стандартов зарубежных стран. Кроме того, имеются библиографические и полнотекстовые базы данных межгосударственных и государственных стандартов.

В настоящее время эталонная база республики включает 101 государственных эталонов (единицы массы, длины, давления, напряжения, переменного тока, единицы pH, удельной электрической проводимости, температуры, времени и частоты) и более 13 тысяч образцовых высокоточных средств измерений.

Для объективной и достоверной оценки технических и метрологических средств измерений, соответствия их требованиям нормативной документации и, учитывая возросшее внимание к безопасности средств измерений при их эксплуатации, Госстандартом проведены государственные испытания и внесены в Государственный реестр около 700 типов средств измерений, В республике для целей сертификации аккредитовано 99 органов по сертификации, 289 испытательных лабораторий, более 700 экспертов-аудиторов (данные на конец 2003 г.).

Республика Казахстан широко сотрудничает в области стандартизации со многими странами мира. Это сотрудничество решает следующие задачи:

- направлено на оказание содействия вхождению РК в мировое экономическое пространство путем устранения технических барьеров в торговле;

- выработка и принятие правил и процедур проведения совместных работ по стандартизации и законодательной метрологии в рамках международных организаций;

- согласование приоритетных направлений и форм совместной деятельности межгосударственного сотрудничества по стандартизации, метрологии и сертификации;

- устранение технических и таможенных барьеров при товарообмене, повышение эффективности производства;

- рассмотрение и принятие основных направлений научных исследований, научно-технических программ, планов и проектов.

Республика Казахстан является полноправным членом Международных организаций по стандартизации (ISO – International Organization for Standardization), законодательной метрологии (OIML – International Organization of Legal Metrology), и Межрегиональной Ассоциации по Стандартизации (MAC).

Республикой Казахстан заключены:

- межправительственные соглашения со странами СНГ о сотрудничестве в области стандартизации, метрологии и сертификации;

- на уровне национальных органов меморандумы и соглашения о сотрудничестве в области стандартизации, метрологии и сертификации с Институтом стандартов и Промышленных исследований Исламской Республики Иран (ISIRI – Institute of Standards and Industrial Research of Iran),

Немецким институтом норм DIN - (Deutsches Institut fur Normung), Турецким институтом стандартов (TSE – Turkish Standards Institution).

Заключены соглашения в области стандартизации со следующими странами: Китайская Народная Республика, Болгария, Иран, Россия, Кыргызстан, Азербайджан, Украина, Грузия, Молдова, Беларусь, Польша, готовятся соглашения с другими странами.

5.5 Оценка и подтверждение соответствия (сертификация)

Подтверждение соответствия — документальное подтверждение соответствия объекта технического регулирования установленным требованиям.

К объектам подтверждения соответствия относятся продукция, услуги, системы качества, персонал, рабочие места и пр.

Формы подтверждения соответствия приведены на рисунке 5.1. По признаку обязательности процедуры различают *обязательное* и *добровольное* подтверждение соответствия. В свою очередь, обязательное подтверждение соответствия по признаку стороны, удостоверяющей его, подразделяется на декларирование соответствия (первая сторона) и обязательную сертификацию (третья сторона).

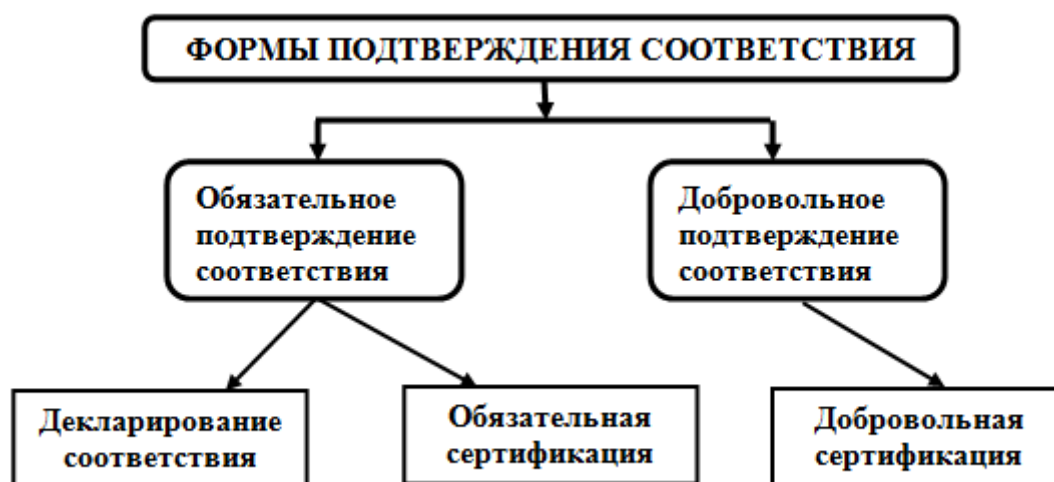


Рисунок 5.1 - Формы подтверждения соответствия

В определении, приведенном в Республиканском «Законе о техническом регулировании», отсутствует признак, относящий сертификат к документам, выдаваемым «третьей стороной» – органом по сертификации, что является основным признаком именно этого документа.

Декларирование соответствия — форма подтверждения соответствия продукции требованиям технических регламентов.

Сертификация — форма осуществляемого органом по сертификации подтверждения соответствия объектов требованиям технических регламентов,

положениям стандартов, сводов правил или условиям договоров.

Обязательная сертификация осуществляется на основании законов и законодательных положений и обеспечивает доказательство соответствия товара (процесса, услуг) требованиям технических регламентов, обязательным требованиям стандартов. Поскольку обязательные требования этих нормативных документов относятся к безопасности, охране здоровья людей и окружающей среды, то основным аспектом обязательной сертификации является безопасность и экологичность.

ИСО/МЭК предлагает термин «*соответствие*», указывая, что это процедура, в результате которой может быть подано заявление, дающее уверенность в том, что продукция (процесс, услуга) соответствует заданным требованиям. Это может быть:

а) *декларация о соответствии* – документ, удостоверяющий соответствие выпускаемой в обращение продукции требованиям технических регламентов;

б) *сертификат соответствия* — документ, удостоверяющий соответствие объекта требованиям технических регламентов, положениям стандартов, сводов правил и условиям договоров. Другой вариант определения: документ, выданный органом по сертификации и удостоверяющий соответствие объекта установленным требованиям.

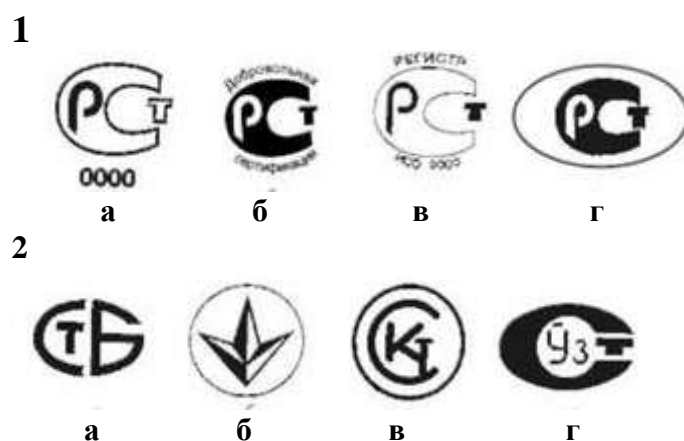
Декларация о соответствии содержит следующие сведения: адрес изготовителя, представляющего декларацию, обозначение изделия и дополнительную информацию о нем; наименование нормативного правового акта в области технического регулирования, на соответствие требованиям которого подтверждается продукция; указание о личной ответственности изготовителя за содержание заявления и др. Представляемая информация должна быть основана на результатах испытаний. Декларация о соответствии принимается на срок, установленный изготовителем (исполнителем) продукции, исходя из планируемого срока выпуска данной продукции, но не более чем на один год.

Подтверждение соответствия через сертификацию предполагает обязательное участие *третьей стороны*. Такое подтверждение соответствия – независимое, дающее гарантию соответствия заданным требованиям, осуществляемое по правилам определенной процедуры. В системах подтверждения соответствия третьей стороной применяются два способа указания соответствия стандартам: сертификат соответствия и знак соответствия.

Знак соответствия — обозначение, служащее для информирования приобретателей о соответствии объекта сертификации требованиям системы добровольной сертификации или национальному стандарту.

Знаки соответствия представлены на рисунке 5.2. Разрешение (лицензия) на использование знака соответствия выдает орган по сертификации.

Доказательство соответствия проводится по той или иной *системе сертификации* – это система, которая осуществляет сертификацию по своим собственным правилам, касающимся как процедуры, так и управления. Систему сертификации составляют: *центральный орган*, который управляет системой, проводит надзор за ее деятельностью и может передавать право на проведение сертификации другим органам; *правила и порядок проведения сертификации*; *нормативные документы*, на соответствие которым осуществляется сертификация; *процедуры (схемы) сертификации*; *порядок инспекционного контроля*. Системы сертификации могут действовать на национальном, региональном и международном уровнях.



1- знаки соответствия в системе ГОСТ Р: а — знак соответствия при обязательной сертификации; б — знак соответствия «Системы добровольной сертификации» Госстандарта России (ныне Росстандарта); в — знак соответствия системы менеджмента качества; г — знак соответствия требованиям национальных стандартов РФ;

2 - знаки соответствия при обязательной сертификации национальных систем сертификации отдельных стран СНГ: а — Беларуси; б — Украины; в — Казахстана; г — Узбекистана.

Рисунок 5.2 - Знаки соответствия

В Казахстане *обязательная сертификация* введена Законом «О защите прав потребителей». Продукция, подлежащая обязательному подтверждению соответствия, определяется нормативными правовыми актами в области технического регулирования. Отличительные признаки обязательной и добровольной сертификации приведены в таблице 5.1.

Добровольная сертификация проводится по инициативе юридических или физических лиц на договорных условиях между заявителем и органом по сертификации в системах добровольной сертификации. Допускается проведение добровольной сертификации в системах обязательной сертификации органами по обязательной сертификации. Нормативный документ, на основании которого осуществляются испытания при добровольной сертификации, выбирается, как правило, заявителем. Заявителем может быть изготовитель, поставщик, продавец, потребитель

продукции. Системы добровольной сертификации чаще всего объединяют изготовителей и потребителей продукции, заинтересованных в развитии торговли на основе долговременных партнерских отношений.

Таблица 5.1 – Отличительные признаки обязательной и добровольной сертификации

Характер сертификации	Основные цели проведения	Основание для проведения	Объекты	Сущность оценки соответствия	Нормативная база
Обязательная	Обеспечение безопасности товаров	Нормативные правовые акты РК и нормативные документы республиканских органов исполнительной власти	Перечни товаров, подлежащих обязательной сертификации согласно техническому регламенту или утвержденные постановлениями Правительства РК	Оценка соответствия обязательным требованиям на этапе проведения процедуры сертификации и последующего инспекционного контроля сертифицированного объекта (продукции и пр.)	Технические регламенты, национальные стандарты, своды правил
Добровольная	1. Обеспечение конкурентоспособности продукции (услуги) предприятия 2. Реклама продукции (услуги), соответствующей не только требованиям, обеспечивающим качество выпускаемой продукции (услуги)	По инициативе юридических лиц на договорных условиях между заявителем и органом по сертификации	Любые объекты (в том числе услуги, процессы, системы менеджмента, персонал)	Оценка соответствия требованиям заявителя, согласованным с ОС (по объектам, подлежащим обязательной сертификации, как правило, оценка соответствия требованиям, дополняющим обязательные)	Национальные стандарты, стандарты организаций, своды правил, системы добровольной сертификации, условия договоров

Участие в системах сертификации может быть в трех формах: допуск к системе сертификации; участие в системе сертификации; членство в системе сертификации.

Допуск означает возможность для заявителя осуществить сертификацию в соответствии с правилами данной системы. Членство и участие устанавливаются на уровне сертификационного органа. Первая форма участия (допуск) относится к предприятиям – изготовителям, поставщикам продукции, которые сертифицируют свою продукцию в рамках выбранной системы (например, при добровольной сертификации), либо обязаны проводить сертификацию по данной системе, например, на основании положений об обязательной сертификации. Две другие формы касаются деятельности сертификационного органа в национальных, региональных и международных системах сертификации.

Сертификация призвана содействовать развитию международной торговли. Однако система сертификации может оказаться техническим барьером. Устранению технических барьеров в торговле способствуют соглашения о взаимном признании (*соглашение по признанию* – согласно терминологии Руководства 2 ИСО/МЭК), которые в зависимости от количества стран, признающих результаты деятельности другой (других) стороны, бывают односторонние, двусторонние, многосторонние.

Сертификация в Республике Казахстан организуется и проводится в соответствии с общегосударственными законами РК: Закон «О защите прав потребителей», «О техническом регулировании», а также с законами РК, относящимися к определенным отраслям: «О ветеринарии», «О пожарной безопасности», «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», иными правовыми актами Республики Казахстан.

Закон «О защите прав потребителей», принятый в 1991 году (с изменениями от 2018 г.), установил ряд принципиально новых положений: закрепил права потребителей, признанные во всем цивилизованном мире, – право на безопасность товаров, работ, услуг для жизни и здоровья; право на надлежащее качество приобретаемых товаров, выполняемых работ и оказываемых услуг; право на возмещение ущерба и судебную защиту прав и интересов потребителя; предусмотрел механизм защиты потребителя, права которых нарушены при продаже недоброкачественных товаров либо при ненадлежащем выполнении работ и оказании услуг [6]. К числу потребителей закон не относит индивидуальных предпринимателей, приобретающих товар для своей деятельности, связанной с извлечением прибыли.

Стандарты, предназначенные для использования при сертификации, в разделе «Область применения» должны содержать указание об их применении для целей сертификации. В стандарт включаются только те характеристики, которые могут быть объективно проверены. Стандарт должен устанавливать последовательность испытаний, если это влияет на их результаты. Предпочтительны методы неразрушающих испытаний.

Порядок проведения подтверждения соответствия продукции установлен по отношению к обязательной сертификации (в том числе и импортируемой продукции), но может применяться и при добровольной сертификации. Общие принципы порядка проведения сертификации

продукции соответствуют Руководству 2 ИСО/МЭК. Управление работами по подтверждению соответствия осуществляется в рамках государственной системы технического регулирования. Непосредственную работу по сертификации ведут органы по подтверждению соответствия и испытательные лаборатории.

Порядок сертификации:

а) подача заявки на сертификацию продукции в орган по подтверждению соответствия; данный орган в течение месяца рассматривает заявку и сообщает решение: какие органы и испытательные лаборатории может выбрать заявитель для сертификации своей продукции;

б) отбор, идентификация образцов и их испытания, которые проводятся испытательной лабораторией; после испытаний выдаются протоколы испытаний по одному заявителю и в орган по подтверждению соответствия; срок хранения протокола равен сроку действия сертификата;

в) оценка производства; проводится анализ производства, сертификация производства или системы управления качеством; метод оценки производства указывается в сертификате соответствия продукции;

г) выдача сертификата соответствия; по результатам п.2 и п.3 составляется заключение эксперта; это главный документ, на основании которого орган по подтверждению соответствия принимает решение о выдаче сертификата соответствия; им же оформляется сертификат с указанием основания для его выдачи и регистрационного номера, без которого он недействителен.

Средства измерения до получения сертификата соответствия должны пройти государственный метрологический контроль и поверку.

Сертификат соответствия выдается на срок, установленный схемой подтверждения соответствия, но не более трех лет.

Инспекционный контроль за сертифицированной продукцией проводится в течение всего срока действия сертификата и лицензии на применение знака соответствия, но не реже одного раза в год.

5.6 Контрольные вопросы

5.6.1 Дать определение «Стандартизация», «Область стандартизации».

5.6.2 Какие цели стандартизации?

5.6.3 Перечислите объекты и уровни стандартизации.

5.6.4 Дать определение «Стандарт», «Технические условия», «Свод правил», «Регламент».

5.6.5 Виды стандартов, их определения.

5.6.6 Нормативные документы по стандартизации в Республике Казахстан.

5.6.7 Перечислите обязательные требования государственных стандартов.

5.6.8 Нормативные документы рекомендуемые ИСО/МЭК.

5.6.9 Когда была создана Международная организация по стандартизации ИСО? Задачи ИСО.

5.6.10 Высший руководящий орган ИСО. Периодичность его проведения. Кто осуществляет непосредственное руководство ИСО?

5.6.11 Основные комитеты ИСО.

5.6.12 Когда была создана Международная электротехническая комиссия (МЭК)? Руководящий орган МЭК.

5.6.13 Европейский комитет по стандартизации (СЕН).

5.6.14 Когда был создан Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (МГС) Содружества Независимых Государств (СНГ)? Высший орган МГС.

5.6.15 Евразийский Совет по стандартизации, метрологии и сертификации (ЕАЭС).

5.6.16 Европейские организации по стандартизации ETSI, СЕН и СЕНЭЛЕК. Где и когда был принят Меморандум о взаимопонимании?

5.6.17 Отличительная особенность американской системы стандартизации.

5.6.18 Когда был создан Американский национальный институт стандартов (ANSI)? Его главная задача.

5.6.19 Какой характер носит система стандартизации в РК?

5.6.20 Когда принята новая Концепция национальной системы стандартизации в России?

5.6.21 Каким Законом РК установлены правовые основы стандартизации в РК?

5.6.22 Закон РК «О техническом регулировании»? Положения Закона «О техническом регулировании». Какой они носят характер?

5.6.23 Функции Государственной системы стандартизации (ГСС) в РК.

5.6.24 Национальный орган по стандартизации в Казахстане.

5.6.25 Членом каких международных организаций является Республика Казахстан?

5.6.26 Что такое подтверждение соответствия?

5.6.27 Объекты и формы подтверждения соответствия.

5.6.28 Определение «Декларирование соответствия», «Сертификация».

5.6.29 Какие сведения содержит «Декларация о соответствии»?

5.6.30 По какой системе проводится подтверждение соответствия?

5.6.31 Состав системы сертификации.

5.6.32 Каким Законом РК в Казахстане введена обязательная сертификация?

5.6.33 Формы участия в системах сертификации.

5.6.34 В соответствии с какими общегосударственными законами РК организуется и проводится сертификация в Республике Казахстан?

5.6.35 Порядок проведения подтверждения соответствия продукции.

6 Управление качеством (основы квалиметрии)

6.1 Понятие и механизм управления качеством

В последнее время развитие промышленности характеризуется значительным повышением внимания к качеству выпускаемой продукции. И это закономерно, так как выпуск продукции высокого качества рассматривается во всех странах мира как одно из важнейших условий развития национальной экономики.

Современная рыночная экономика предъявляет принципиально иные требования к качеству выпускаемой продукции. Это связано с тем, что в настоящее время устойчивое положение компании на рынке товаров и услуг определяются уровнем конкурентоспособности. Конкурентоспособность зависит от двух показателей – уровня цены и уровня качества продукции, причем второй показатель постепенно выходит на первое место, опережая по своей значимости показатели производительности труда, экономии всех видов ресурсов [17].

Качество, как фактор конкурентоспособности, распространяется на всю национальную экономику. Повышение качества продукции – основная тенденция работы всех компаний мира.

Концепция национальной политики Казахстана в области качества продукции и услуг подчеркивает, что главной задачей отечественной экономики в XXI веке является рост конкурентоспособности за счет роста качества.

Качество продукции – важнейший показатель деятельности предприятия. Повышение качества продукции определяет выживаемость предприятия в условиях рыночной экономики, темпы научно-технического прогресса, рост эффективности производства, экономию всех видов ресурсов.

В соответствии с международным стандартом ИСО 9000:2000 *качество – это совокупность свойств и характеристик продукции, которые придают ей способность удовлетворять обусловленные или предполагаемые потребности* [7].

Международный стандарт определяет качество как совокупность характерных свойств, формы, внешнего вида и условий применения, которыми должны быть наделены товары для соответствия своему назначению. Все эти элементы определяются требованиями к качеству, которые отражены на этапе проектирования в технической характеристике изделия, в конструкторской документации и технических условиях, предусматривающих качество сырья, конструктивные размеры, сочетание оттенков, глянец и т.д.

Качество нельзя рассматривать изолированно с позиций производителя и потребителя. Потребитель выбирает тот товар, который для него представляет наибольшую ценность, исходя из своего представления о качестве товара, его цене и возможных затрат на эксплуатацию.

Под управлением качеством продукции понимаются действия, осуществляемые при создании, эксплуатации и потреблении продукции для установления, обеспечения и поддержания необходимого уровня ее качества.

Поскольку на качество влияет множество факторов, то главная цель управления заключается в выделении основных из них. Нужно также учитывать взаимосвязь факторов, чтобы при воздействии на один из них предвидеть реакцию других. Для обеспечения комплексности контроля и управления качеством необходимо учитывать все этапы производства, взаимосвязь подразделений, участвующих в решении проблем качества.

Объектами управления в данном случае являются потребительские характеристики продукции, факторы и условия, влияющие на их уровень, а также процессы формирования качества продукции на разных стадиях ее жизненного цикла.

Субъектами управления являются различные органы управления и отдельные лица, реализующие функции управления качеством в соответствии с общепринятыми принципами и методами управления.

Механизм управления качеством продукции представляет собой совокупность взаимосвязанных объектов и субъектов управления, используемых принципов, методов и функций управления на различных этапах жизненного цикла продукции и уровнях управления качеством.

Он должен обеспечивать реализацию следующих *основных функций управления качеством* [17]:

- прогнозирование потребностей рынка, технического уровня и качества продукции;
- планирование повышения качества продукции;
- нормирование требований к качеству продукции и стандартизация;
- разработка и постановка продукции на производств;
- технологическая подготовка производства;
- контроль качества и испытания продукции;
- профилактика брака в производстве;
- сертификация продукции, работ, услуг, систем качества и производств;
- внутрипроизводственная аттестация продукции, технологических процессов, рабочих мест, исполнителей и др.;
- стимулирование и ответственность за достигнутый уровень качества;
- правовое, информационное, материально-техническое, метрологическое, организационное, технологическое и финансовое обеспечения управления качеством продукции.

Сущность всякого управления заключается в выработке управленческих решений и последующей их реализации на определенном объекте управления.

Сегодня для достижения этих целей используются идеология и положения международных стандартов ИСО серии 9000. Данные стандарты:

- ориентированы на рыночные отношения;
- аккумулируют положительный опыт организации управления (менеджмента) в промышленности ведущих индустриальных держав;

- универсальны для применения предприятиями различных отраслей промышленности и к различным видам деятельности;
- признаны фактически всеми развитыми странами в качестве основы для организации взаимовыгодных торгово-экономических взаимоотношений предприятий.

Стандартизация, метрология и сертификация – это инструменты обеспечения качества продукции, работ и услуг.

1. Стандарт устанавливает набор основных показателей свойств определенного товара. В разработке стандарта принимают участие Комитет технического регулирования и метрологии, все предприятия государственной собственности, коллективы НИИ по направлениям.

2. Метрология с помощью методов различного контроля гарантирует соответствие изготовленной продукции стандарту, техническим условиям (ТУ) чертежей и другой технической документации.

3. Сертификация (лат. *Certum facer* – верно сделать) – это деятельность, направленная на подтверждение соответствия продукта требованиям всех нормативных документов.

Если управление качеством продукции базируется на стандартизации, то конечная оценка качества изготовленной продукции осуществляется с помощью сертификации.

Без обеспечения технико-эксплуатационных, эксплуатационных и других параметров качества, определяемых техническими регламентами, не может быть осуществлена сертификация продукции, т.е. ее оценка на соответствие требованиям. Внедрение стандартов ИСО 9000 создает базу для независимой сертификации продукции, ориентированную на подтверждение соответствующего уровня ее качества и определяющую ее конкурентные возможности. Однако в стандартах ИСО серии 9000 целевая установка на экономическую эффективность выражена весьма слабо, а на своевременность поставок она просто отсутствует.

Это привело к разработке стандартов серии ИСО 14000, устанавливающих требования к системам менеджмента качества с точки зрения защиты окружающей среды и безопасности продукции, что вызвало необходимость изучения систем качеством, факторов, влияющих на их функционирование и развитие, показателей оценки и контроля их деятельности.

6.2 Измерение и оценивание качества

Совокупность свойств продукции, обуславливающих ее пригодность удовлетворять определенные потребности в соответствии с ее назначением, называют качеством. Для того чтобы управлять качеством, прежде всего необходимо уметь это качество оценить, а в идеальном случае - измерить.

Подходы к количественной оценке качества продукции определяет специальная наука – *квалиметрия*, наука о способах измерения и количественной оценке качества продукции и услуг [12].

Квалиметрия изучает вопросы оценивания качества. Само по себе обобщенное свойство, называемое качеством, не является физической величиной и в строгом метрологическом понимании не может быть измерено, поскольку не существует узаконенной меры этого свойства. Тем не менее, на основе аналогий с измерениями физических величин в квалиметрии получены практические рекомендации по оцениванию качества, в том числе и количественному.

Определить или измерить одну величину можно лишь сравнив ее с другой, известной величиной, принятой за единицу сравнения - меру. В метрологии такими мерами являются единицы физических величин. Аналогом физических величин в квалиметрии служат *показатели качества*. Понятия «физическая величина» и «показатель качества» близки, но не тождественны. Физическая величина отражает объективные свойства природы, а *показатель качества* - *общественную потребность в конкретных условиях*. Так, масса - физическая величина, а масса изделия показатель его транспортабельности; освещенность - физическая величина, а освещенность на рабочем месте - эргономический показатель.

Качество представляет собой сложное, многомерное свойство продукции, обобщенную характеристику множества ее потребительских свойств. Для целей же оценивания оно представляется упрощенной моделью, учитывающей лишь небольшое число определяющих качество компонент. По мере необходимости *модель качества* может совершенствоваться, в рассмотрение могут включаться новые свойства продукции, все более полно характеризующие качество. Не исключен и обратный путь - упрощения модели.

Количественная характеристика одного или нескольких свойств продукции, составляющих ее качество, называется *показателем качества продукции*.

Показатели качества, являющиеся основной категорией потребительских ценностей, создают основу для формирования цены, себестоимости продукции в зависимости от ее первоначального качества.

Различают 10 групп показателей качества по характеризующим ими свойствам продукции [12]:

1) *показатели назначения* характеризуют свойства продукции, определяющие основные функции, для выполнения которых она предназначена, и обуславливают область ее применения.

В эту группу входят:

- *классификационные показатели*, которые устанавливают принадлежность изделий к определенной классификационной группировке (класс автомобилей, точность приборов и т.д.);

- *функциональные (эксплуатационные) показатели*, которые характеризуют полезный результат от эксплуатации изделия (быстродействие компьютера, точность измерительного прибора, производительность установки и т.д.);

- *конструктивные показатели*, дающие представление о проектно-конструкторских решениях изделия (двигатели бензиновые, дизельные, электрические и т.д.);

- *показатели состава и структуры*, которые определяют содержание в продукции химических элементов, их соединений (процентное содержание серы и золы в коксе и т.д.).

Показатели этой группы играют основную роль в оценке уровне качества;

2) *показатели надежности* характеризуют свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости:

- *безотказность* – свойство изделия сохранять работоспособность в течение некоторого времени или наработки;

- *долговечность* – свойство изделия сохранять работоспособность до предельного состояния с необходимыми перерывами для технического обслуживания и ремонта;

- *ремонтпригодность* - способность продукции подвергаться ремонту;

- *сохраняемость* – свойство изделия и продукции сохранять исправное и пригодное к потреблению состояние в течение установленного в технической документации срока хранения и транспортирования, а также после него;

3) *эргономические показатели* характеризуют систему «человек-изделие» и учитывают комплекс свойств человека, проявляющихся в производственных и бытовых процессах. К ним относятся гигиенические (освещенность, температура, давление, влажность), антропометрические (одежда, обувь, мебель, пульта управления) и психофизиологические (скоростные и силовые возможности, пороги слуха, зрения и т.п.);

4) *эстетические показатели* определяют информационную выразительность, рациональность формы, целостность композиции, совершенство производственного исполнения, стабильность товарного вида (характеристики оттенков, запахов, гармоничности и т.д.);

5) *показатели технологичности* подтверждают свойство продукции, обуславливающие оптимальное распределение затрат материалов, времени и средств труда при технической подготовке производства, изготовлении и эксплуатации продукции. Это показатели трудоемкости, материало- и фондоемкости, себестоимости изделий;

6) *показатели стандартизации и унификации* характеризуют насыщенность продукции стандартными, унифицированными и оригинальными частями, а также уровень унификации с другими изделиями.

Основные показатели унификации – коэффициенты применяемости, повторяемости, взаимной унификации для групп изделий, удельный вес оригинальных узлов (деталей). Стандартными являются все части продукции, выпускаемые по государственным и отраслевым стандартам;

7) *патентно-правовые показатели* свидетельствуют о степени обновления технических решений, использованных в продукции, их патентной защите, а также возможности беспрепятственной реализации

продукции в нашей стране и за рубежом (количество или удельный вес запатентованных или лицензированных деталей (узлов) и т.п.);

8) *экологические показатели* отражают уровень вредных воздействий на окружающую среду, возникающих при эксплуатации или потреблении продукции. Например, содержание вредных примесей, выбрасываемых в окружающую среду; вероятность выброса вредных частиц, газов, излучений при хранении, транспортировании и использовании продукции;

9) *показатели безопасности* характеризуют те особенности продукции, которые обуславливают безопасность человека при ее эксплуатации или потреблении. Они отражают требования к нормам и средствам защиты людей, находящихся в зоне возможной опасности при возникновении аварийной ситуации, и предусмотрены системой госстандартов по безопасности труда, а также международными стандартами;

10) *экономические показатели* включают затраты на разработку, изготовление, эксплуатацию или потребление продукции, учитываемые в интегральном показателе качества продукции (различные виды затрат, себестоимость, цена и пр.), при сопоставлении различных образцов продукции – технико-экономические показатели.

Среди показателей качества имеются такие, которые невозможно выразить численными значениями (оттенки, запах, тембр и т.д.). Они определяются при помощи органов чувств (органолептически) и являются сенсорной характеристикой.

Перечисленные показатели характеризуют продукцию на протяжении всего ее жизненного цикла. Они могут совершенствоваться, изменяться, но их начальная номенклатура не меняется. Эти показатели определяют базовое потребительское качество, которое является основой для сравнения с продукцией конкурентов.

Под уровнем качества изделия понимается относительная оценка качества, основанная на сравнении совокупности характеристик рассматриваемого изделия с базовыми, т.е. изделиями конкурентов, перспективных образцов, стандартов и т.п.

Расчет показателей, оценивающих уровень качества продукции, производится с определенными целями, важнейшая из которых – сопоставление различных потребительских свойств изделий и их экономических характеристик, т.е. определение оптимального уровня качества изделий.

Оптимальный уровень качества – это такой уровень, выше или ниже которого производить продукцию и (или) удовлетворять потребности потребителя экономически нецелесообразно. В одних случаях качество можно повышать, в других – оставлять неизменным, в третьих – возможно даже понижать в целом или по отдельным показателям, чтобы сократить затраты на изготовление изделий.

Следовательно, превосходство в качестве продукции приводит к увеличению прибыли. На увеличение прибыли воздействуют два фактора:

- удовлетворенность потребителей тем, что продукция и услуги, полученные ими, более высокого качества, и, как следствие, при более высокой удовлетворенности потребителей можно устанавливать более высокую цену на товары;

- снижение затрат на производство из-за отсутствия несоответствий (дефектов) и, следовательно, уменьшение затрат на их доработку.

Но изготовление продукции более высокого качества имеет и отрицательные стороны: возникает потребность в увеличении времени на технологический цикл, в более дорогостоящем оборудовании, повышаются требования к квалификации сотрудников и уровню их заработной платы. Это приводит к увеличению себестоимости продукции, но при взвешенном подходе к уровню качества продукции такие затраты не только окупаются, но и приносят значительные доходы.

6.3 Свойства и правила формирования показателей качества

В зависимости от того, относятся ли показатели качества к категории физических величин, или к величинам нефизического характера (экономическим, гуманитарным, социальным и т.п.), показатели качества выражаются в единицах физических величин, либо в единицах, назначаемых по соглашению (например, в баллах, по бальной шкале).

Показатели качества делятся на единичные и комплексные. *Единичные показатели* относятся к одному из свойств, определяющих качество; *комплексные показатели* - формируются из нескольких единичных показателей.

Комплексные показатели качества могут быть сформированы из единичных на основании известных функциональных зависимостей между ними, а могут представлять собой комбинацию из единичных, принятую по соглашению. Так, выбрав в качестве единичных показателей качества радиоаппаратуры напряжение питания U и потребляемый ток I , можно получить комплексный показатель - потребляемую мощность P , используя функциональную зависимость $P = UI$.

В случае отсутствия объективной функциональной зависимости для формирования комплексных показателей качества, применяют *субъективный способ* - расчет комплексного показателя по принципу среднего взвешенного, используя одну из формул [17]:

- *среднее арифметическое взвешенное*

$$\overline{Q} = \sum_{i=1}^n g_i Q_i ; \quad (6.1)$$

- *среднее гармоническое взвешенное*

$$\tilde{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n g_i}{\sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{g_i}} ; \quad (6.2)$$

- среднее геометрическое взвешенное

$$\bar{Q} = \left(\prod_{i=1}^n Q_i^{g_i} \right)^{\frac{1}{\sum_{i=1}^n g_i}} . \quad (6.3)$$

Посредством *весовых коэффициентов* g_i учитывается важность или ценность (вес) каждого единичного показателя качества Q_i . Ценность результатов измерения физических величин тем больше, чем меньше их рассеяние. Поэтому при обработке результатов нескольких серий измерений, при решении систем линейных уравнений методом наименьших квадратов весовые коэффициенты выбираются обратно пропорциональными дисперсиям. В квалитметрии «вес» показателей качества определяется иными соображениями. Показатели назначения, например, являются обычно наиболее важными. Однако на сколько или во сколько раз один показатель важнее другого, сказать трудно.

Задача определения весов показателей качества обычно решается, исходя из условия:

$$\sum_{i=1}^n g_i = 1 . \quad (6.4)$$

При соблюдении этого условия среднее взвешенное переходит в среднее арифметическое значение, а выражение для среднего гармонического взвешенного существенно упрощается.

Суммирование единичных показателей качества с учетом их весов должно производиться в соответствии с правилами теории размерностей. Поэтому очень часто от абсолютных значений единичных показателей качества предварительно переходят к относительным. Абсолютное значение комплексного показателя получается в этом случае безразмерным.

Среднее арифметическое взвешенное используется преимущественно тогда, когда в комплексный показатель качества объединяются однородные единичные показатели, а разброс между слагаемыми невелик.

П р и м е р - Основными единичными показателями качества кокса являются содержание в нем серы S_c , зольность A_c , прочность M_{10} и M_{40} . При увеличении каждого из этих показателей на 1 % производительность доменной печи в первых трех случаях снижается соответственно на 20, на 2, и на 3 %, а в четвертом - повышается на 1,3 %. При этих условиях комплексный показатель, характеризующий зависимость производительности доменной печи от качества кокса, может быть представлен в виде среднего арифметического взвешенного:

$$\hat{Q} = g_1 S_c + g_2 A_c + g_3 M_{10} + g_4 M_{40} ,$$

где коэффициенты весомости естественно выбрать равными изменению производительности доменной печи при увеличении значений перечисленных показателей качества кокса на 1 %. При значениях показателей качества кокса $S_c = 0,7 \%$; $A_c = 11 \%$; $M_{10} = 8 \%$; $M_{40} = 78 \%$, соответствующих требованиям государственного стандарта:

$$\hat{Q} = -0,2 \cdot 0,007 - 0,02 \cdot 0,11 - 0,03 \cdot 0,08 + 0,013 \cdot 0,78 = 4,14 \cdot 10^{-3} .$$

Среднее гармоническое взвешенное применяется тогда, когда разброс между слагаемыми более значительный.

Среднее квадратическое взвешенное используется в методе наименьших квадратов. В квалиметрии этот метод также применяется очень широко.

Наиболее распространенным и универсальным является *среднее геометрическое взвешенное*.

Таким образом, практикой выработаны следующие рекомендации:

1) среднее арифметическое взвешенное используется для вычисления комплексного показателя качества в том случае, когда объединяются однородные показатели, имеющие незначительный разброс;

2) при значительном разбросе показателей рекомендуется использовать среднее гармоническое взвешенное;

3) наиболее универсальным приемом формирования комплексного показателя считают комплексирование по принципу среднего геометрического взвешенного. По этой схеме объединяют единичные показатели, когда они неоднородны (относятся к разнородной продукции или разным условиям ее применения) и имеют значительный разброс.

В комплексных показателях качества низкие значения одних единичных показателей могут компенсироваться высокими значениями других. Иногда это соответствует реальным жизненным ситуациям. Многолетними наблюдениями и специальными исследованиями, например, установлено, что одежда и обувь отечественного производства в целом более прочна и долговечна, чем импортная. Однако последняя имеет более привлекательный внешний вид, чем объясняется повышенный спрос на импорт. Высокие эстетические показатели качества в данном случае компенсируют низкие показатели надежности и долговечности. Другой пример: за счет снижения отдельных показателей качества повышают показатели транспортабельности (в частности, массогабаритные характеристики) оборудования и изделий, устанавливаемых на летательных аппаратах. Таких примеров множество.

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

Так же, как производные физические величины, комплексные показатели качества можно продолжать и дальше комбинировать между собой, добываясь все большего и большего обобщения свойств, формирующих в целом представление о качестве. Таким образом, структура показателей качества является *многоуровневой* (рисунок 6.1). Основу ее составляют единичные показатели, характеризующие отдельные свойства, определяющие качество. Число этих показателей, конечно, меньше, чем многообразие свойств.

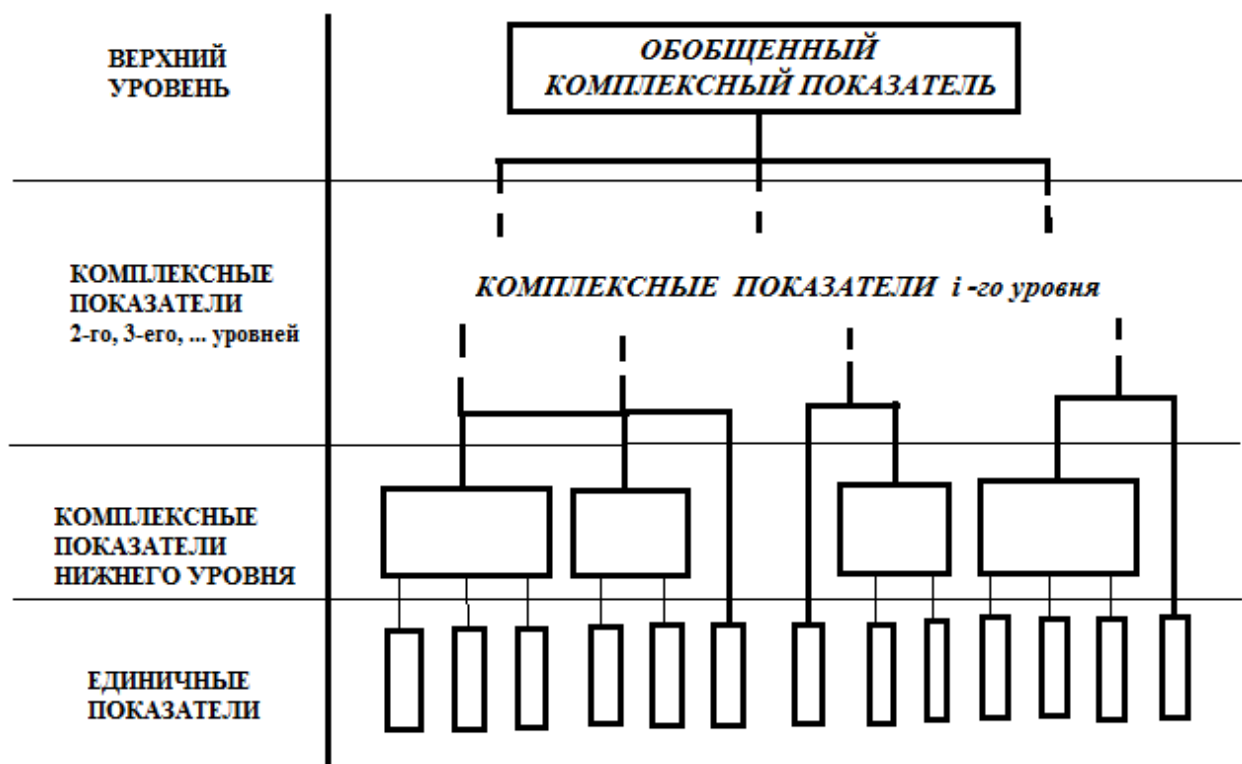


Рисунок 6.1 – Многоуровневая структура показателей качества

Единичные показатели качества являются мерами лишь тех свойств, которые представляются существенными при рассмотрении качества под вполне определенным углом зрения. Таким образом, уже на их уровне формируется некоторое упрощенное представление о качестве или, как говорят, его *модель*. При переходе к комплексным показателям на каждом вышестоящем уровне модель становится все более грубой, пока ни сводится, наконец, к характеристике качества с помощью одного единственного обобщенного комплексного показателя верхнего уровня. Принципы формирования комплексных показателей на каждом уровне такие же, как и на нижнем: на основе функциональных связей или определений.

Комплексные показатели качества, относящиеся к определенной группе его свойств, называются *групповыми*.

Разновидностью комплексного показателя качества, позволяющего с экономической точки зрения определить оптимальную совокупность свойств изделия, является *интегральный показатель качества*. Например, интегральным показателем качества буровой установки может быть удельная глубина бурения:

$$K_u = \frac{H_{\Sigma}}{3_c + 3_y},$$

где H_{Σ} - суммарная глубина проходки буровой установки до капитального ремонта, м;

Z_c, Z_z — соответственно себестоимость и затраты на эксплуатацию буровой установки до капитального ремонта.

Примером интегрального показателя качества транспортных средств могут служить удельные затраты на 1 километр пробега:

$$K_u = \frac{Z_c + Z_z}{L},$$

где Z_c и Z_z — соответственно себестоимость и затраты на эксплуатацию транспортного средства до капитального ремонта;

L - пробег транспортного средства до капитального ремонта, км.

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

Показатели качества, как и физические величины, меняются с течением времени. В одних случаях этим изменением можно пренебречь, в других — нельзя. Качество продукции, например, снижается к концу срока ее службы, причем в течение этого периода могут быть интервалы, когда продукция не эксплуатировалась из-за неисправностей, нахождения на техобслуживании или в ремонте. Эти обстоятельства учитываются показателями надежности, к числу которых относятся показатели сохраняемости, безотказности, ремонтпригодности, долговечности и др. По своей природе они в корне отличаются от всех остальных показателей качества продукции и оперировать с ними, как с другими, нельзя.

Если в состав комплексного показателя входят разнородные показатели качества, их необходимо выразить в относительной форме.

6.4 Методы определения показателей качества

Для определения значений показателей качества могут быть использованы инструментальные и экспертные методы.

Инструментальные методы применяются в ограниченных случаях, когда показатели качества представляют собой физические величины и существуют измерительные инструменты (средства измерения), обладающие нормированными метрологическими характеристиками. Инструментальные определения показателей качества сводятся, таким образом, к решению обычных измерительных задач метрологии.

Экспертные методы оценивания показателей качества применяют тогда, когда использование технических средств измерения, невозможно или экономически не оправдано. Экспертные методы используют, например, для оценивания эргономических и эстетических показателей, в спорте, в гуманитарных областях наук. Используются все виды измерительных шкал, вплоть до шкалы отношений.

Разновидностями экспертного метода являются органолептический и социологический методы.

Органолептический метод оценивания основан на определении свойств объекта с помощью органов чувств человека: зрения, слуха, осязания, обоняния и вкуса. Например, оценка качества чая дегустаторами.

Социологические методы строятся на массовых опросах населения или его групп, когда каждый индивидиум выступает в роли эксперта.

Общим для всех экспертных методов является представление о *человеке-эксперте* как о некотором «нетехническом» средстве измерения. При этом полагают, что меру соответствующего свойства человек создает в своем воображении. Основываясь на таком методологическом подходе, экспертные оценки показателей качества нередко называют результатом измерения, а саму процедуру оценивания - измерением качества.

Экспертные оценки - это всего лишь результат грубого оценивания, но не измерения! И, тем не менее, экспертные оценки потребительских свойств продукции, пока еще недоступных измерению, имеют важное прикладное значение, открывают возможность сравнения, классификации объектов по интенсивности оцениваемых свойств.

Экспертную оценку качеству продукции может дать один специалист, однако, в целях повышения достоверности оценки предпочтение отдается *групповому методу оценивания*. Для обеспечения эффективности оценок должна тщательно подбираться и аттестовываться экспертная комиссия.

Основой для отбора кандидатов в экспертную комиссию является проверка их компетентности путем тестирования. При формировании группы существенные затруднения связаны с проблемой обеспечения согласованности и независимости оценок экспертов. Поэтому на завершающем этапе формирования комиссии целесообразно провести самооценку и взаимооценку экспертов. Практика показывает, что экспертные группы с высокими самооценками реже ошибаются в оценке качества объектов.

Весьма показательной является *взаимная оценка экспертами друг друга* (также по балльной системе). Для этого они должны, разумеется, иметь опыт совместной работы.

При наличии сведений о результатах работы эксперта в других экспертных группах критерием его квалификации может стать *показатель* или *степень надежности* — отношение числа случаев, когда мнение эксперта совпало с результатами экспертизы, к общему числу экспертиз, в которых он участвовал. Использование этого подхода к отбору экспертов требует накопления и анализа большого объема информации, но открывает возможность непрерывного совершенствования качественного состава экспертных групп.

При подборе экспертов большое внимание уделяется *согласованности их мнений*, которая характеризуется смещенной или несмещенной оценкой дисперсии отсчета. С этой целью на этапе формирования экспертной группы проводятся контрольные измерения с математической обработкой их результатов. Нередко при этом используется не один, а сразу несколько

объектов измерений, которые в зависимости от их ценности или качества нужно расставить по шкале порядка, т. е. определить их ранг, ибо измерение по шкале порядка называется ранжированием. За меру «согласованности» мнений экспертов в этом случае принимается так называемый *коэффициент конкордации*:

$$W = \frac{12S}{n^2(m^3 - m)},$$

где S - сумма квадратов отклонений суммы рангов каждого объекта экспертизы от среднего арифметического рангов;

n — число экспертов;

m — число объектов экспертизы.

В зависимости от степени согласованности мнений экспертов коэффициент конкордации может принимать значения от 0 (при отсутствии согласованности) до 1 (при полном единодушии).

Задача. Определить степень согласованности мнений 5-ти экспертов, ранжирования которыми 7-ми объектов экспертизы приведены в таблице 6.1 [17].

Таблица 6.1

Номер объекта экспертизы	Оценка эксперта					Сумма рангов	Отклонение от среднего арифм.	Квадрат отклонения от среднего арифм.
	1- го	2- го	3- го	4- го	5- го			
1	4	6	4	4	3	21	1	1
2	3	3	2	3	4	15	-5	25
3	2	2	1	2	2	9	11	121
4	6	5	6	5	6	28	8	64
5	1	1	3	1	1	7	-13	169
6	5	4	5	6	5	25	5	25
7	7	7	7	7	7	35	15	225

Решение.

1. Среднее арифметическое рангов:

$$\frac{21 + 15 + 9 + 28 + 7 + 25 + 35}{7} = 20$$

2. Используя результаты промежуточных вычислений, приведенные в таблице 6.1, получаем: $S = 630$.

3. Коэффициент конкордации:

$$W = \frac{12 \cdot 630}{25(343 - 7)} = 0,9.$$

Степень согласованности мнений экспертов можно считать удовлетворительной.

Если степень согласованности мнений экспертов оказывается неудовлетворительной, принимают специальные меры для ее повышения. Сводятся они, в

основном, к проведению тренировок с обсуждением результатов и разбором ошибок.

Характерными чертами этого метода являются:

- *анонимность*. Эксперты не встречаются друг с другом, чтобы избежать влияния авторитета и красноречия кого-либо из них;

- *многоэтапность*. После каждого тура опроса все эксперты знакомятся с мнениями друг друга и при необходимости представляют письменные обоснования своих точек зрения. Соглашаясь или не соглашаясь с мнениями своих коллег, они могут пересматривать свою точку зрения;

- *контроль*. После каждого тура проверяется согласованность мнений экспертов до тех пор, пока разброс отдельных мнений не снизится до заранее выбранного значения.

При особо ответственных измерениях экспертным методом могут учитываться весовые коэффициенты квалификации экспертов.

Количество экспертов тоже играет важную роль. С ростом числа экспертов в группе точность измерения повышается. Это фундаментальное свойство любого многократного измерения.

По графику на рисунке 6.2 можно найти число экспертов n , при котором среднее квадратическое отклонение среднего арифметического σ будет соответствовать требуемому.

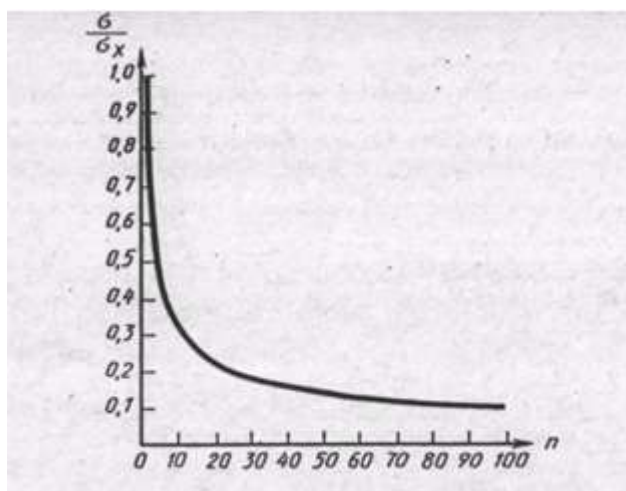


Рисунок 6.2 – График для определения численности экспертной группы

Исходная численность экспертной группы составляет обычно не менее 7 человек. В отдельных случаях она достигает 15 ... 20 экспертов (массовый опрос проводится, как правило, только при социологических исследованиях).

6.5 Контрольные вопросы

6.5.1 Качество, как фактор конкурентоспособности.

6.5.2 Определение качества в соответствии с международным стандартом ИСО 9000:2000.

6.5.3 Какие действия понимаются под управлением качеством продукции?

6.5.4 Что представляет собой механизм управления качеством продукции?

6.5.5 Что относится к объектами управления?

6.5.6 Стандартизация, метрология и сертификация как инструменты обеспечения качества продукции, работ и услуг.

6.5.7 Сущность и отличия стандартов ИСО 9000 и 14000.

6.5.8 Что такое квалиметрия?

6.5.9 Что отражает показатель качества? Привести примеры показателей качества.

6.5.10 Группы показателей качества.

6.5.11 Перечислить показатели назначения и надежности.

6.5.12 Перечислить эргономические и эстетические показатели качества.

6.5.13 Перечислить показатели технологичности и безопасности.

6.5.14 Перечислить показатели стандартизации и унификации.

6.5.15 Перечислить патентно-правовые показатели качества.

6.5.16 Перечислить экологические показатели качества.

6.5.17 Перечислить экономические показатели качества.

6.5.18 Единичные и комплексные показатели качества. Определения.

6.5.19 Субъективный способ расчета комплексного показателя. Формулы расчета.

6.5.20 Практические рекомендации по выбору формул расчета комплексного показателя.

6.5.21 Коэффициент вето.

6.5.22 Многоуровневая структура показателей качества.

6.5.23 Методы определения показателей качества.

6.5.24 В каких случаях применяются инструментальные методы оценивания показателей качества?

6.5.25 В каких случаях применяются экспертные методы оценивания показателей качества?

6.5.26 Разновидностями экспертного метода оценивания показателей качества.

6.5.27 Аттестация экспертной комиссии.

6.5.28 Определение численности экспертной группы.

Перечень сокращений

АСУТП	- автоматизированная система управления технологическими процессами
ГМС	- Государственная метрологическая служба
ГСИ	- Государственная система обеспечения единства измерений
ГСП	- Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации
ГСС	- Государственная система стандартизации
ИК	- измерительный канал
ИП	- измерительный прибор
ИПр	- измерительный преобразователь
ИСО	- Международная организация по стандартизации
МБМВ	- Международное бюро мер и весов
МО	- математическое ожидание
МЭК	- Международная электротехническая комиссия
НД	- нормативные документы
НМХ	- нормированные метрологические характеристики
НСП	- неисключенная систематическая погрешность
ПР	- правила стандартизации
Р	- регламент
РОЗ	- расширенная область значений
РС	- рекомендации по стандартизации
СИ	- средство измерений
СКО	- среднее квадратическое отклонение
ТУ	- технические условия
УСО	- устройство связи с объектом
ФВ	- физическая величина

Список литературы

- 1 ГОСТ 8.207-76 «Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов наблюдений».
- 2 ГОСТ 8.508-84 ГСИ. Метрологические характеристики средств измерений и точностные характеристики средств автоматизации ГСП Общие методы оценки и контроля.
- 3 ГОСТ Р ИСО 9000-2015 Системы менеджмента качества. Основные положения и словарь (с поправкой).
- 4 Закон РК «Об обеспечении единства измерений». - Астана, 2000.
- 5 Закон РК «О техническом регулировании». - Астана, 2004.
- 6 Закон РК «О защите прав потребителей», 2018.
- 7 ИСО 9000:2000(E) Системы менеджмента качества. Фундаментальные принципы и словарь.
- 8 Кошечкина И.П., Канке А.А. Метрология, стандартизация, сертификация: учебник. – М.: ИД «Форум»: ИНФРА-М, 2009. – 416 с.
- 9 Лифиц И.М. Стандартизация, метрология и сертификация. – М., 2008.
- 10 Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: учебное пособие/ под ред. К.К.Кима. – СПб.: Питер, 2006.
- 11 Мокров Ю.В. Метрология, стандартизация и сертификация: учебное пособие. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 2007.
- 12 Ребрин Ю.И. Управление качеством: Учебное пособие. – Таганрог: изд-во ТРГУ, 2004. – 174 с.
- 13 Хан С.Г. Метрология, измерения и техническое регулирование. Учебное пособие. – Алматы: АИЭС, 2009.
- 14 Хан С.Г. Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством. Конспект лекций (для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление).- Алматы: АУЭС, 2015.- 56 с.
- 15 Хан С.Г. Метрология, стандартизация, сертификация и управление качеством. Методические указания по выполнению расчетно-графических работ для студентов всех форм обучения специальности 5В070200 - Автоматизация и управление.- Алматы: АУЭС, 2015.- 43 с.
- 16 Хан С.Г. Основы единства измерений и техническое регулирование: Учебное пособие (для магистрантов специальности «Автоматизация и управление»)/С.Г. Хан. – Алматы: АУЭС, 2015. – 113 с.
- 17 Шишкин И.Ф. Метрология, стандартизация и управление качеством: Учеб. для вузов/Под ред. акад. Н.С. Соломенко. – М.: изд-во стандартов, 1990. – 342 с., ил.
- 18 Шишкин И.Ф. Теоретическая метрология. Часть 2. Обеспечение единства измерений: Учебник для вузов. 4-е изд. – СПб.: Питер, 2012. – 240 с.

Хан Светлана Гурьевна

**МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ, СЕРТИФИКАЦИЯ И
УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ**

Учебное пособие

Редактор Сластихина Л.Т.

Подписано в печать _____.____._____
Тираж 100 экз. Формат 60х84 1/16

Бумага типографская №2
Уч.–изд. лист.- 7,4. Заказ № _____.
Цена 3800 тенге.

Некоммерческое АО «АУЭС»
г. Алматы, ул. Байтурсынулы, 123

Копировально-множительное бюро
некоммерческого акционерного общества
«Алматинский университет энергетики и связи»
050013, Алматы, ул. Байтурсынулы, 126