

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
Государственное образовательное учреждение  
Высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»

А. Т. РАИМОВА  
Д. А. ДАМИНОВ

# **АНАЛИЗ ВЫБОРА МЕТОДОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ НА ЭТАПАХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И КОНСТРУИРОВАНИЯ РЭА**

Рекомендовано Ученым советом государственного образовательного  
учреждения высшего профессионального образования  
«Оренбургский государственный университет»  
в качестве учебного пособия для студентов специальностей  
200800, 180100, 180400, 100400, 220100, 220400

Оренбург 2007

УДК 006.91 : 621.38 (075.8)

ББК 30.10,73

Р-18

Рецензент

доктор технических наук, профессор В. Н. Булатов

**Р-18 Раимова А. Т. Анализ выбора методов и средств измерений на этапах проектирования и конструирования РЭА: учебное пособие / А. Т. Раимова, Д. А. Даминов. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2007. – 118 с.**

Учебное пособие являются основным учебным руководством как при дипломном и курсовом проектировании, так и при выполнении лабораторных работ студентами специальностей 200800, 180100, 180400, 100400, 220100, 220400.

Р 2004010000

ББК 30.10,73

© Раимова А.Т., Даминов Д. А., 2007  
© ГОУ ОГУ, 2007

## Сокращения и обозначения, принятые в стандарте

- МУ – методические указания  
УП – учебное пособие  
СИ – средства измерения  
МИ – методические инструкции  
СКО – среднее квадратическое отклонение  
МХ – метрологическая характеристика  
НИР – научно-исследовательская работа  
НТД – нормативно-технический документ  
РТИ – радиотехнические измерения  
РЭА – радиоэлектронная аппаратура  
X – значение параметра  
 $X_0$  – действительное (или истинное) значение параметра  
 $X_{ус}$  – условный предел допускаемого отклонения параметра  
 $\Delta_{со}$  – погрешность СИ  
 $\Delta_n, \Delta_v$  – погрешность измерения СИ с нижней и верхней ее границами  
 $\Delta_{осн}$  – основная составляющая погрешности  
 $\Delta_c$  – системная составляющая погрешности  
 $\Delta_{\xi}$  – дополнительная составляющая погрешности  
 $\Delta_{осн}$  – систематическая составляющая основной погрешности  
 $\Delta^{\circ}$  – случайная составляющая погрешности  
 $\Delta_{\xi}$  – систематическая составляющая дополнительной погрешности  
 $\Delta_d$  – предел допускаемого значения погрешности СИ  
 $\Delta_n$  – нормируемая погрешность измерения  
 $\sigma(\Delta^{\circ})$  – предел допускаемого значения СКО случайной составляющей  
 $\sigma(\Delta_c)$  – предел допускаемого значения СКО систематической составляющей погрешности  
 $\sigma(\Delta)$  – СКО погрешности данного типа  
 $\sigma_T$  – СКО параметра изделия от  $A_0$   
A – результат единичного измерения  
 $A_0$  – номинальное значение параметра  
 $A_0^T$  – технологическое номинальное значение параметра  
 $A_v$  – верхнее предельное допустимое значение параметра  
 $A_n$  – нижнее предельное допустимое значение параметра  
 $\delta$  – допуск на параметр  $\delta = A_v - A_n$   
 $\delta_v$  – верхнее предельное отклонение параметра  $\delta_v = A_v - A_0$   
 $\delta_n$  – нижнее предельное отклонение параметра  $\delta_n = A_n - A_0$   
S – относительный допуск параметра  $S = \delta / (2\sigma_T)$   
 $S_v$  – относительный верхний допуск параметра  $S_v = \delta_v / (\sigma_T)$   
 $S_n$  – относительный нижний допуск параметра  $S_n = \delta_n / (\sigma_T)$   
 $R_v = \Delta_d / \delta_v, R_n = \Delta_d / \delta_n$  – коэффициенты, учитывающие отношение между погрешностью измерения и отклонениями параметра  
 $K_T$  – коэффициент запаса по точности  $K_T = 1/R$

$P$  – вероятность, с которой погрешность находится в интервале от  $\Delta_n$  до  $\Delta_B$   
 $P_{\text{но, доп}}$  – допускаемое значение вероятности необнаруженного отказа  
 $P_{\text{ло}}$  – вероятность ложного отказа  
 $P_{\text{но}}$  – вероятность необнаруженного отказа  
 $P_{\text{ло}}^B, P_{\text{но}}^B$  – вероятность ложного и необнаруженного отказа для верхнего допуска  
 $P_{\text{ло}}^H, P_{\text{но}}^H$  – вероятность ложного и необнаруженного отказа для нижнего допуска  
 $D_{\text{осн}}$  – дисперсия основной погрешности СИ  
 $D_i$  – дисперсия дополнительной погрешности СИ  
 $C, C_0, C_i$  – коэффициенты, учитывающие вид закона распределения основных и дополнительных погрешностей  
 $C(p)$  – коэффициент, значение которого при заданной вероятности  $P$  зависит от вида закона распределения  
 $M[\Delta]$  – математическое ожидание погрешности СИ данного типа  
 $\delta_g$  – допустимая погрешность (относительная) измерения за счет шунтирующего влияния  
 $\delta_n$  – допустимое предельное значение выхода за допуск

# Содержание

Введение .....	7
1 Роль метрологии в развитии общества .....	8
1.1 История развития метрологии .....	8
1.2 Связь метрологии с другими науками .....	11
1.3 Роль современной метрологии в рамках концепции устойчивого развития .....	17
2 Общие сведения о метрологии .....	21
2.1 Основные метрологические понятия .....	21
2.2 Виды и методы измерений .....	24
2.3 Погрешности измерений .....	28
3 Технические средства измерений .....	36
3.1 Измерительные информационные системы .....	37
3.2 Электроизмерительные приборы .....	38
3.2.1 Аналоговые измерительные приборы .....	40
3.2.2 Измерительные механизмы .....	42
3.2.3 Цифровые измерительные приборы и преобразователи .....	45
3.3 Метрологические характеристики средств измерения и их нормирование .....	48
4 Выбор методов и средств измерений на этапах проектирования и конструирования РЭА .....	55
4.1 Способы нормирования контролируемых параметров .....	55
4.1.1 Задание контролируемого параметра .....	55
4.1.2 Способы выражения предельного отклонения параметра .....	55
4.1.3 Дополнительные характеристики контролируемого параметра .....	55
4.1.4 Задание СКО и Закона распределения .....	56
4.1.5 Выбор центра закона распределения .....	56
4.1.6 Выбор $\sigma_T$ .....	56
4.2 Определение нормируемой погрешности измерений .....	57
4.2.1 Определение допустимого значения погрешности измерения .....	57
4.2.2 Определение значения $X_{yc}$ .....	58
4.2.3 Выбор значения $K_T$ .....	59
4.3 Методы расчета суммарной погрешности средств измерений и методов измерений .....	60
4.3.1 Определение предела погрешности СИ при нормированных основной и дополнительной погрешностях .....	63
4.3.2 Определение предела погрешности СИ при отклонении закона распределения погрешностей от нормальных .....	64
4.3.3 Условные типовые сведения о законах распределения	

погрешностей средств измерений .....	65
4.3.4 Определение предела допускаемой погрешности СИ с одинаковыми законами распределения суммируемых составляющих погрешности .....	67
4.3.5 Определение предела допускаемой погрешности СИ с различными законами распределения суммируемых составляющих погрешности .....	66
4.3.6 Определение погрешности в случае косвенных измерений .....	66
5 Общие правила выбора метода и средств измерений .....	67
6 Формы представления результатов измерений .....	70
6.1 Показатели точности согласно МИ 1317-86 .....	70
6.2 Выражение точности измерения .....	70
6.3 Правила для выражения численных показателей точности .....	70
6.4 Форма представления результатов измерений при выполнении прямых единичных измерений .....	70
6.5 Форма представления результатов измерений при косвенных измерениях .....	71
7 Законодательная метрология .....	72
7.1 Сертификация .....	72
7.1.1 Сущность и функции сертификации .....	72
7.1.2 Социально-экономические функции и эффективность сертификации .....	74
7.1.3 Законодательная база сертификации .....	77
7.1.4 Сертификация средств измерений .....	79
7.2 Система стандартизации .....	80
7.2.1 Основные понятия стандартизации .....	81
7.2.2 Цели и задачи стандартизации .....	85
7.2.3 Категории и виды стандартов Российской Федерации .....	86
7.2.4 Основные принципы и методы стандартизации .....	88
7.2.5 Правовые основы стандартизации в Российской Федерации .....	91
7.2.6 Государственная система стандартизации Российской Федерации .....	93
Контрольные вопросы для самопроверки .....	95
Список использованных источников .....	96
Приложение А – Рекомендации по выбору СИ .....	97
Приложение Б – Примеры выбора СИ с помощью графиков .....	105
Приложение В – Перечень графиков для определения $R$ по $R_{но}$ и $R_{ло}$ .....	109
Приложение Г – Приближенные формулы оценки $R_{ло}$ и $R_{но}$ .....	114
Приложение Д – Термины и определения .....	115

## Введение

Измерения играют важнейшую роль в жизни человека и являются начальной ступенью познания, которое часто не превышает уровня эмпирических. Здесь очень к месту подходит выражение: «Теория без практики — мертва, практика без теории — слепа».

Метрология является важным компонентом, обеспечивающим рост научно-производственного потенциала. От наличия и качества метрологических средств в существенной степени зависит эффективность экономики. Государства с низким уровнем метрологических средств вынуждены нести большие убытки, производя лишь первичную обработку сырья или продавая вовсе не обработанное сырье. Совершенно очевидно, насколько в этих государствах варварски расходуются природные ресурсы и загрязняется окружающая среда.

Культура исследования, состоящая в том, чтобы гарантировать получение с заданным уровнем качества воспроизводимые и сопоставимые результаты, остается на достаточно низком уровне. Таким образом, важнейшей проблемой остается измерение и объективная оценка элементов национального богатства.

Внедрение техники радиотехнических измерений совпало с началом развития систем радиосвязи и радиоэлектроники. Существенное внимание данным вопросам уделял крупнейший русский ученый, изобретатель радио А.С. Попов. Основоположником отечественной радиоизмерительной техники вне сомнения считается академик М.В. Шулейкин, организовавший в 1913г. первую заводскую лабораторию по производству радиоизмерительных приборов. Большой вклад в развитие техники электрорадиоизмерений внес академик Л.И. Мандельштам, создавший в начале XX в. прототип современного электронного осциллографа. Многие русские ученые, такие, как М.А. Бонч-Бруевич, В.В. Ширков, Н.Н. Пономарев, В.Г. Дубенецкий и другие, существенно развили теорию и технику радиоизмерений.

При разработке учебного пособия были использованы дополнительные рекомендации по вопросам выбора методов и средств измерений, изложенные в НТД и технической литературе.

Учебное пособие разработано для применения в области электро- и радио-технических измерений, но может быть использовано и в области других видов измерений.

В предложенном учебном пособии рассмотрены наиболее типичные случаи выбора методов и средств измерений, приведены рекомендации по их выбору.

Термины, использованные в стандарте, соответствуют НТД по вопросам метрологии.

# 1 Роль метрологии в развитии общества

Метрология – наука о мерах (от греческих слов *μετρον* – мера и *λόγος* – учение, слово) – объединяет две дисциплины, которые различаются по своим задачам и назначению. С одной стороны, метрология – это наука о точных измерениях. Основной ее задачей является конкретное создание единиц измерения в виде точнейших образцов – эталонов. Для создания образцов измерения метрология разрабатывает специальную методику измерений, которая позволяет достигать точности, необходимой для научных и практических целей. С другой стороны, метрология – это вспомогательная историческая дисциплина, изучающая историю сложения систем мер, названия единиц измерения, соотношение друг с другом различных мер прошлого, а также единицы налогового обложения и денежного счета, т. е. изучающая различные единицы измерения в историческом развитии.

## 1.1 История развития метрологии

Установлено, что более чем за четыре тысячелетия до новой эры (Рождества Христова) в Вавилоне и Египте уже проводили астрономические измерения. На протяжении всей истории развития науки и техники перед человеком возникало и возникает множество проблем, для решения которых необходимо располагать количественной информацией о том или ином свойстве объектов материального мира (явлении, процессе, теле, веществе, изделии и пр.). Основным способом получения такой информации являются измерения, при правильном выполнении которых находится результат измерения с большей или меньшей точностью, отражающий интересующие свойства объекта познания. Сохранилось небольшое количество источников, на основании которых можно составить представление о древнейших мерах. В большинстве случаев известно лишь наименование тех или иных мер, иногда их отношение между собой. В пределах одного и того же наименования реальное содержание мер неоднократно менялось. Задача метрологии — установить связь и преемственность между различными видами мер. Изучение мер дает возможность более отчетливо представить себе состояние хозяйства определенного времени, потребности населения и способы их удовлетворения,

Итак, как только человек начал строить жилища, изготавливать орудия, посуду, он столкнулся с необходимостью применения мер. Потребность в измерениях стала особенно насущной с развитием обмена. Однако первоначально люди не знали точного определения размеров и количеств. Измерения были самыми примитивными, приблизительными, и касались они объема, тяжести, протяжения. Тяжесть измерялась мерами веса, вместимость — мерами объема, протяжение — мерами длины; в основе всех этих мер лежала прямая линия.

Единицами измерений протяжения на первых этапах развития человеческого общества служили локоть, пядь (расстояние между вытянутыми



большим и указательным пальцами руки), иногда простейшие физические действия, например ходьба (измерение расстояния шагами). Большие расстояния измерялись днями пути — пешими и конными, а также днями «судового хода». Мерой объема и тяжести служили количества, которые человек может захватить или унести своими руками (горсть, ноша, охапка), В быту такие определения количеств сохранились до настоящего времени.

В период, когда основными мерами были размеры человеческой руки или расстояние, которое может пройти человек за день, и т. д., конечно, еще не было точного определения размеров. Точные размеры появляются лишь с развитием и усложнением хозяйственной жизни, развитием торговли, ростом культуры. Так постепенно создаются единицы измерения, стоящие в точном математическом отношении друг к другу. Когда меры веса, объема, длины дробятся, делятся на части в правильной соразмерности, тогда измерение приобретает математический характер и можно говорить о метрологии как о науке, как об определенной системе знаний.

Следовательно, метрология как система знаний сложилась в глубокой древности. Видимо, на этом этапе метрологические данные не были изложены в каких-то общих трактатах. Сведения о мерах периода Древней Руси, частично периода феодальной раздробленности приходится извлекать из различных источников общеисторического содержания. В период феодальной раздробленности Руси общепринятых мер для всего государства не было. Это было естественным следствием разобщенности, раздробленности, отсутствия политических связей. Лишь с развитием производительных сил, в период Русского централизованного государства, появляются меры, общие для всей страны, но местные меры как пережиток феодальной раздробленности еще долго будут существовать.

В XVI в. в связи с общим ростом экономики страны, следствием которого явилось успешное развитие внутреннего рынка, постепенно превращавшегося во всероссийский, появляются специальные трактаты, посвященные вопросам метрологии. Появлению трактатов о мерах способствовало также открытие Северного морского пути через Архангельск. Русское государство получило возможность вести интенсивную торговлю с Западной Европой. Из специальных руководств — трактатов о мерах можно указать, прежде всего, на «Торговую книгу», имеющую полное название: «Книжка описательная, какой молодым людям торг вести и знати всему цену, и отчасти в ней описаны всяких земель товары различные, их же привозят на Русь немцы и иных земель люди торговые». «Торговая книга» была составлена с целью обучения молодых людей, готовящих себя к торговой деятельности. «Торговая книга» была составлена во второй половине XVI века в г. Москве, затем в первой половине XVII в. она была дополнена новыми сведениями. Авторами «Торговой книги» были, по всей вероятности, русские торговцы, посадские люди, активно участвовавшие в торговле, в частности в заграничной. Сохранилось значительное количество списков «Торговой книги». «Торговая книга» может считаться одним из первых обобщающих трудов по русской метрологии.

Руководствами для производства измерения земли являются и межевые инструкции XVIII в., данные в 1754 и 1766 гг. Некоторое обобщение материалов по истории мер было осуществлено в XVIII в. в связи с подготовкой новых законов о мерах. Так, в конце XVIII в. была составлена «Выписка из законов о мерах и весах», в которой собран законодательный материал о мерах за 100 лет — с середины XVII до середины XVIII в. Неизвестный составитель «Выписки» не только сообщает сведения о том или ином указе, но и дает свои толкования законодательным распоряжениям, отмечает значение некоторых законов. Наблюдения над системой мер прошлого автор использует для подготовки проекта нового закона о привлечении к ответственности за злоупотребления в области пользования мерами.

История развития техники электрических измерений связана с именами русских ученых М.В. Ломоносова и Г.В. Рихмана, которые в 40-х годах XVIII века сконструировали первый в мире электроизмерительный прибор, названный авторами указатель электрической силы. Во второй половине XVIII — первой половине XIX в. выдающиеся ученые (Вольт, Кулон, Ом и др.) продолжили создание других видов приборов. В частности, закон Ома был открыт при наблюдении взаимодействия провода с током, расположенного рядом с магнитной стрелкой, — прообраза современных приборов магнитоэлектрической системы. С помощью этого устройства М. Фарадей установил закон электромагнитной индукции. Во второй половине XIX в. существенный вклад в развитие электроизмерительных приборов внесли русские ученые А. Г. Столетов, Б. С. Якоби и особенно М. О. Доливо-Добровольский, предложивший электромагнитные и ряд других приборов.

Первые измерительные приборы использовались лишь для относительной оценки физической величины. Такое положение сохранялось до тех пор, пока не были определены электрические меры. Вначале (середина XIX в.) эти меры, созданные отдельными учеными в разных странах, не были одинаковыми. Однако это позволяло все же производить измерения, хотя еще и не в общепринятых единицах, и сделало возможным взаимное сличение этих мер и сравнение результатов опытов.

В 1875 г. по взаимной договоренности на специальной международной конференции с участием России была подписана метрическая конвенция, по которой страны обязались содержать «Международное бюро мер и весов» как центр, обеспечивающий единство измерений в международном масштабе. На международных конгрессах по электричеству (1881 г. — Париж и 1893 г. — Чикаго) была принята применяющаяся и до нашего времени практическая система электрических и магнитных единиц, базирующаяся на международных единицах Ампера и Ома.

Внедрение техники радиотехнических измерений совпало с началом развития систем радиосвязи и радиоэлектроники. Существенное внимание данным вопросам уделял крупнейший русский ученый, изобретатель радио А.С. Попов. Основателем отечественной радиоизмерительной техники вне сомнения считается академик М.В. Шулейкин, организовавший в 1913г. первую заводскую лабораторию по производству радиоизмерительных

приборов. Большой вклад в развитие техники электрорадиоизмерений внес академик Л.И. Мандельштам, создавший в начале XX в. прототип современного электронного осциллографа. Многие русские ученые, такие, как М.А. Бонч-Бруевич, В.В. Ширков, Н.Н. Пономарев, В.Г. Дубенецкий и другие, существенно развили теорию и технику радиоизмерений.

## 1.2 Связь метрологии с другими науками

Менделеев первым выступил с трибуны съезда русских естествоиспытателей с призывом содействовать подготовке метрической реформы путем употребления метрической системы в научных исследованиях, на лекциях и уроках. Заканчивался доклад Д.И. Менделеева словами: «Облегчим же и на нашем скромном поприще возможность всеобщего распространения метрической системы и через то поспособствуем общей пользе и будущему желанному сближению народов. Не скоро, понемногу, но оно придет. Пойдем ему навстречу».

Для таких решительных суждений и действий в пользу введения метрической системы в России нужно было обладать и достаточной смелостью, и даром научного предвидения. Ведь обстоятельства не всегда благоприятствовали новой системе мер, хотя в нашей стране давно употреблялся десятичный счет денег, и основанный на этом счете инструмент — счеты — давно стал народным. Приходилось в то время считаться с отношением к метрическим мерам не только населения России, но и населения пограничных стран, главным образом на юге и востоке. Была, например, угроза прекращения торговли с Китаем, поскольку китайские торговцы не хотели отказываться от привычных русских и китайских мер. Да и старая русская система мер отличалась завершенностью и была «твердо поставлена». Работы Менделеева заложили прочный фундамент, как для факультативного, так и для последующего обязательного внедрения метрической системы мер в нашей стране.

Появление работ по метрологии не практического, а уже научного характера связано с ростом в начале XIX в. общего интереса к истории, к вопросам источниковедения и к вспомогательным историческим дисциплинам. Значительный толчок для изучения мер был дан Н. М. Карамзиным. В примечаниях к «Истории государства Российского» Карамзина содержится целый ряд сведений о мерах. В первой половине XIX-го века для изучения истории русских мер много сделал А.И. Ламберти. Его работа, посвященная происхождению и современному состоянию мер длины и веса, является первым научным исследованием в области истории метрологии. Однако работа Ламберти не нашла продолжателей в первой половине XIX века. Только с середины XIX века появляется целый ряд специальных исследований в области метрологии.

В середине XIX века складывается так называемая описательная метрология, которая занималась описанием различного рода мер: длины, веса, поверхности, сыпучих и жидких тел, применявшихся в различных странах.

Описательная метрология занималась также установлением соотношений между единицами измерений. Обширный сводный труд такого типа по метрологии появился в конце 40-х годов XIX века. Он принадлежит Ф. И. Петрушевскому. В этой работе речь идет не только о русских мерах, но и о западноевропейских мерах. Ф. И. Петрушевский ставит перед собой задачу описать все применявшиеся в его время меры и дать представление о сложившейся к середине XIX века системе мер.

Метрология как вспомогательная историческая дисциплина сложилась во второй половине XIX века, когда появился ряд специальных работ по истории мер. Для своего времени эти работы имели большое научное значение. Они положили начало изучению истории русских мер и в ряде случаев содержат ценный фактический материал. Среди этих исследований можно назвать статьи П. Г. Буткова, Д. И. Прозоровского, А. И. Никитского.

Основы отечественной метрологии заложил русский ученый Д. И. Менделеев (1834 — 1907). Роль и значение измерений Д. И. Менделеев определял так: «В природе мера и вес суть главное орудие познания. Наука начинается с тех пор, как начинают измерять, точная наука немислима без меры». Зарождение метрологической службы в нашей стране следует отнести к 1842 г., в котором был издан закон о мерах и весах, предусматривающий создание первого в России метрологического учреждения — Депо образцовых мер. В 1893 г. Д. И. Менделеев основал Главную палату мер и весов, в задачи которой входило не только хранение эталонов и обеспечение поверки по ним средств измерений, но и проведение научных исследований в области метрологии. Затем в стране стали создаваться местные поверочные палаты.

Изучение метрологии помогает понять экономику страны в целом. Не случайно С. Г. Струмилин начинает очерки по экономической истории России с рассмотрения истории русских мер. Меры находятся в полной зависимости от развития производительных сил и производственных отношений. Одновременно наблюдается тесная связь метрологии с другими науками. Метрология помогает изучению источников, особенно источников по социально-экономической истории. Иногда без знания метрологии невозможно разобраться в сущности экономических явлений, о которых идет речь в том или ином документе.

Рассмотрение вопросов, связанных с историей мер и денежного счета, имеет для историка и самостоятельное значение. Метрология, как и другие вспомогательные исторические дисциплины, обогащает историю новыми фактическими данными. Вопросы состояния мер, точности мер определяются в известной степени уровнем развития культуры и научных знаний.

Как известно, русский основоположник классификации наук академик Б.М. Кедров предложил понятие треугольника наук, «вершинами» которого являются философские, естественные и социальные науки. Основной целью метрологии является познание окружающего нас мира. В этом ее связь с философией. Метрология относится к числу точных наук — в этом ее связь с математикой как наукой естественной. Измерения проводятся не только в технике, измерениями занимаются и психологи, и социологи, и представители многих других направлений, не относящихся к «точным» наукам. Так, широко

распространенную в психологии оценку умственного развития человека называют измерением интеллекта. В этом связь метрологии с социальными науками. Метрологию с этой точки зрения можно поместить на любой стороне упомянутого треугольника.

Общественные науки пока располагают значительно более слабым по сравнению с естественными науками инструментарием познания изучаемых явлений. Известна крылатая фраза «наука начинается тогда, когда начинаются измерения». Метрология в области общественных наук – это ее ахиллесова пята. Культура исследования, состоящая из того, чтобы гарантировать получение с заданным уровнем качества воспроизводимые и сопоставимые результаты, остается на достаточно низком уровне. Явно недостаточное внимание уделяется введению используемого понятийного аппарата, стандартизации и унификации наименований и семантике используемых показателей, методов их расчета и применяемых размерностей, описанию методов исследования, требованиям к организации наблюдений, в том числе выборочных, сбору и анализу первичных данных.

Так, что касается понятийного аппарата, используемого в исследованиях по социальной сфере общества, само понятие «социальный» не имеет однозначного толкования. В работе Хайек приводит 160 различных вариантов употребления понятия «социальный». Важнейшей проблемой остается измерение и объективная оценка элементов национального богатства. Наиболее остро слабость метрологического аспекта общественных наук проявляется при решении задач, связанных с международными сопоставлениями, подготовкой сводных данных и интегрированием информационных ресурсов. Решение обозначенной проблемы, по мнению авторов концепции стратегического планирования для России начала XXI века, необходимо учитывать при решении задач стратегического планирования в рамках концепции устойчивого развития.

В настоящее время научная метрология играет важную роль в различных областях народного хозяйства, поэтому появились различные разделы научной метрологии, функционирующие как самостоятельно в своих областях, так и взаимосвязанные друг с другом выбором методов и средств измерений, определением путей повышения точности измерений и снижения погрешностей результатов измерений. В настоящее время активно развиваются следующие разделы метрологии.

### ***Экономическая метрология***

Известный российский экономист А.Е. Когут основал новое научное направление. Он совершенно справедливо отмечал, что если физика, химия и иные, так называемые точные научные дисциплины основаны на достаточно разработанной метрологической системе, то и экономика как наука для того, чтобы она была способной успешно решать разнообразные хозяйственные проблемы должна также основываться на метрологической системе. Разработка такой системы и является основной целью экономической метрологии.

Главной задачей экономической метрологии является разработка научных принципов создания непротиворечивой и полной системы показателей, отражающих разнообразные стороны экономической

действительности, а также подходов к их группировке и классификации, тогда как экономическая статистика уже на основе этих принципов призвана заниматься разработкой конкретных показателей. Учитывая, что нередко для анализа какого-то экономического явления используется довольно большая группа показателей, ряд из которых противоречит друг другу по некоторым важнейшим составляющим, актуальность появления экономической метрологии в качестве особой научной дисциплины, призванной к разрешению этих противоречий, становится еще более очевидной.

### ***Экологическая метрология***

Если целесообразность появления экономической метрологии в качестве отдельной научной дисциплины оспаривается рядом ученых в связи с интенсивным развитием экономической статистики, то необходимость появления экологической метрологии в качестве особой научной дисциплины из-за отсутствия столь же развитой экологической статистики вряд ли может быть подвергнуто сомнению. В этой связи вполне уместно привести известное высказывание Леонардо да Винчи о том, что там, где нет математики, нет и науки. Экология, в отличие от экономики, развивающейся уже не одно тысячелетие, наука молодая, но чтобы и впредь ей соответствовать общенаучным критериям, необходимо в срочном порядке создать метрологические основы экологии.

Экологическая метрология как научная дисциплина, прежде всего, должна основываться, на наш взгляд, на учете существования большого многообразия природных ресурсов. Как известно все природные ресурсы делятся на две принципиально различные группы: не возобновляемые природные ресурсы и возобновляемые природные ресурсы. К первой группе относятся земля и полезные ископаемые, ко второй – вода, воздух, растительные и животные ресурсы. Их принципиальное отличие заключается в том, что если первая группа ресурсов может быть использована человеческим обществом в строго определенном объеме, тогда как вторая группа ресурсов обладает способностью к естественному самовосстановлению.

Замечательным помощником и здесь, в деле охраны природы, стал лазер. Особенно эффективны лазерные приборы на службе защиты атмосферного воздуха. Дым, пыль, смог — все это аэрозоли, то есть мельчайшие частицы твердых тел, находящиеся в воздухе во взвешенном состоянии. Принципы лазерного зондирования атмосферы (до высот 30—40 км) основаны на особенностях взаимодействия лазерных импульсов с аэрозолями. Вначале эти особенности постигаются на земле, для чего в крупногабаритной камере искусственно создаются различные аэрозоли. Лазерные устройства могут устанавливаться даже непосредственно в дымовой трубе промышленного предприятия и определять содержание в выбросе золы, сажи или других вредных веществ.

В одной из московских типографий раньше лабораторный анализ качества очистки воздуха производился несколько часов. Теперь лазерная установка справляется с экспресс-анализом за считанные минуты.

Лазерные газоанализаторы способны улавливать одну десятиллионную долю нужного газа в испытываемой среде. Каждый, газ откликается только на

определенное лазерное излучение. Газоанализатор «Каскад», разработанный учеными Московского инженерно-физического института, воспроизводит около 40 типов лазерных лучей. Он обнаруживает многие загрязняющие газы: этилен от выхлопов автомобилей, аммиак — продукт химической промышленности, двуокись серы — от неполного сжигания топлива в котлах электростанций и т.д. Интересно, что этот и другие газоанализаторы способны также осуществлять поиск полезных ископаемых (газы — спутники их месторождений) и предсказывать землетрясения (по поступающим из недр углеводородам). Прямого отношения к разработке газоанализаторов метрологи, может быть, и не имеют. Но ведь и эти приборы метрологически обеспечены. За достоверность их показаний отвечают метрологи, и прямо, и косвенно участвующие в контроле и охране окружающей среды. Значит, и они предотвращают высыхание русел рек, появление пустынь на месте лесов, ухудшение состава воздуха и учащение заболеваний.

### ***Спортивная метрология***

Предметами спортивной метрологии, как части общей метрологии, являются измерения и контроль в спорте. В спортивной метрологии термин «измерение» трактуется в самом широком смысле, ибо в спортивной практике недостаточно измерять только физические величины. Методы этой дисциплины позволяют находить различные показатели: психологические, биологические, эстетические, социологические и другие. Ведь, кроме измерений длины, высоты, времени, массы и других физических величин, в спорте теперь приходится оценивать техническое мастерство, выразительность и артистичность движений и тому подобные, казалось бы, не измеряемые, нефизические величины. Термин «измерение» в спортивной метрологии понимается как установление соответствия между изучаемыми явлениями и числами. Для повышения точности измерений привлекаются новинки радиотелеметрии, лазерной, ультразвуковой и инфракрасной техники, радиоизотопы, фотограмметрия, видеомагнитофоны и т.д.

### ***Медицинская метрология***

Человек — это комплекс сложнейших самонастраивающихся систем, отлично приспособляющихся к окружающей среде. Наше тело обладает громадными резервами. И все же человек хрупкое создание. Поэтому медицина всегда будет играть важную роль в нашей жизни.

До нашего времени медицина носила эмпирический характер, опираясь на многовековые случайные наблюдения. Современные медицинские средства, очень точные и сложные внутри, в эксплуатации просты и надежны, благодаря встроенным микропроцессорам. Медицинские установки и приборы в большинстве случаев имеют нормированные метрологические характеристики и, следовательно, являются средствами измерений.

Направление общей метрологии, отвечающее за единство и достоверность результатов измерений в медицине, получило название медицинской метрологии. Испытания, аттестации и поверки медицинских средств измерений — ответственная и сложная работа. В настоящее время электронная аппаратура не только лечит, выполняет анализы — исследования, но и помогает ставить диагноз заболевания. В диагностической аппаратуре

широко используются такие высокоточные методы исследований, как оптические, радиоиммунные, иммунно-люминесцентные, иммунно-ферментные и т.п. Наибольший интерес вызывает экспертная информационно-измерительная система, разработанная Институтом кибернетики Украины, которая ориентирована на прогнозирование хода болезни при различных методах лечения. При этом необходимо помнить, что достоверность результатов работы медицинских установок целиком зависит от точности измерений аномальных свойств активных точек и от точности «образцовой кривой». Поэтому медицинские средства измерений, как и технические, при выпуске из производства подвергаются тщательному метрологическому исследованию – аттестации, если выпускаются единичные образцы, или государственным испытаниям, если изделие должно стать серийным. В процессе эксплуатации система должна периодически поверяться.

Заглянуть внутрь живого организма без хирургического вмешательства совсем недавно было возможно лишь с помощью рентгена. Развитие вычислительной техники привело к созданию вычислительного томографа, который позволяет получить гораздо больший объем информации при меньшей дозе облучения больного. На примере томографии демонстрируется роль математических методов обработки информации в деле повышения точности средств измерений. Разработанные советскими учеными под руководством академика А.Н. Тихонова алгоритмы дали возможность в несколько раз повысить точность томографов.

### *Метрология в легкой промышленности*

Как же так? Ведь стандарт — это именно та преграда, которая должна стоять на пути немодной, некрасивой вещи от проектанта к потребителю. Налицо неграмотное применение четкого технического термина. Отчасти оно объясняется тем, что мы умеем стандартизировать далеко не все то, что нужно. Можно ли измерить соответствие фасону, моде? К сожалению, нельзя, как и красоту в целом.

Объектами стандартизации становятся только те параметры, которые можно измерить. Например, можно оценить эстетические свойства натуральной кожи, окрашенной активными красителями, потому что цветовые измерения легко производятся с помощью спектроколориметров типа «Радуга». Красиво окрашенные куски кожи — это те, которые соответствуют норме, «воротам», установленным для разброса трех измеряемых координат цвета.

Итак, одежда и обувь должны быть не только добротными, удобными, но и модными. А бытовая радиоаппаратура должна быть не только надежной, простой в обращении, но и имеющей технические параметры, соответствующие лучшим мировым образцам. Другие виды продукции должны отличаться малыми себестоимостью, энергоемкостью, материалоемкостью. Следовательно, качество продукции — понятие емкое и многогранное. И борьба за повышение качества — дело не простое. В современных условиях управлять качеством продукции можно лишь путем выполнения большого числа высокоточных измерений, сопровождающих эту продукцию и до, и во время, и после ее производства. Действительно, только в том случае, если мы можем количественно оценить параметры сырья, технологического процесса и



готового изделия, измерять эти параметры и сравнивать их с нормированными стандартными значениями, гарантируется качество, надежность и долговечность любой продукции.

Стандарт - это та основа, на базе которой можно и нужно создавать модные вещи и любую другую продукцию, аттестованную по высшей или первой категории качества.

### **1.3 Роль современной метрологии в рамках концепции устойчивого развития**

По данным ЮНЕСКО, с измерениями сейчас связано более 3 тыс. областей человеческой деятельности. Только в России измерениями, их учетом и деятельностью, так или иначе связанной с ними, профессионально занимаются более 3,5 млн. человек.

Метрология является важным компонентом, обеспечивающим рост научно-производственного потенциала. Во всех развитых странах мира понятно, что поскольку метрологические средства «пронизывают» весь научно-производственный комплекс, то от их наличия и качества в очень существенной степени зависит эффективность экономики. По оценкам специалистов, для успешного ведения экономики необходимо измерять около 1500 параметров. Таким образом, для глубокой обработки сырья и создания безотходных технологий необходимо обладать совершенными методиками и метрологическими средствами. А государства с низким уровнем метрологических средств вынуждены нести большие убытки, производя лишь первичную обработку сырья или продавая вовсе необработанное сырье. Совершенно очевидно, насколько варварски расходуются природные ресурсы, и загрязняется окружающая среда в этих государствах. В свете сказанного, исследования по созданию методик измерения и метрологических средств, отвечающих требованиям международных стандартов, должны быть отнесены к перечню приоритетных. Весьма важное значение в развитии данных исследований имеет их поддержка государственными структурами.

В настоящий момент отечественная система метрологического обеспечения является одной из наиболее развитых и общепризнанных в мире. Эталонная база России насчитывает около 150 государственных и 500 вторичных эталонов, а также массив стандартных образцов, содержащий более 2 тыс. типов. Передача размеров единиц физических величин от эталонов к рабочим средствам осуществляется с помощью обширного парка образцовых средств измерений.

Измерения — один из основных способов познания явлений и законов природы. Физический закон — это математическое соотношение между значениями физических величин. Под значением физической величины понимается ее оценка, выраженная в виде некоторого числа принятых для этой величины единиц, названных в предыдущей беседе мерами (напомним: метрологи обычно употребляют термин «мера» в другом значении). Например, если секундомер показал 3 с, измеренное время составляет трехкратное

повторение секунды. Казалось бы, чего проще? Но от каждого поколения людей требуются труд и даже жизни многих его представителей, чтобы неуклонно повышать точность определения числового значения. На протяжении всей истории своего существования человечество стремилось к абсолютной точности определения значений физических величин. Но не зря говорят: чтобы никогда не совершать ошибок, нужно ничего не делать. Напрашивается аналогия: чтобы избежать погрешностей, нужно отказаться от измерений. А без измерений человеку не прожить. Измерения поставляют информацию, в которой кроется могущество человечества.

Метрологам оказалось гораздо удобнее оценивать количественно не значения точности, а значения погрешности. Погрешность измерения не нужно путать с ошибкой измерения. Ошибку в большинстве случаев устранить можно, а полностью устранить погрешность, к сожалению, нельзя (даже вводя поправку). Современная метрология включает общую теорию измерений физических величин, устанавливает и регламентирует единицы физических величин и их системы, порядок передачи размеров единиц от эталонов образцовым и рабочим средствам измерений, методы и средства измерений, общие методы обработки результатов измерений и оценки их точности. В настоящее время метрология развивается по нескольким направлениям. Наиболее сформированы и развиваются две взаимосвязанные ее ветви: научная метрология и законодательная метрология.

Современная метрология включает в сферу своей деятельности и определение наиболее точных значений важнейших физических констант (скорости света, частоты излучения микрочастиц и пр.), 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 изделий микроэлектроники, аттестация программ и алгоритмов обработки данных и т.д. Следует обратить внимание на то, что на этапе современной научно-технической революции в метрологии, и в частности в электрорадиоизмерительной технике, происходят значительные качественные изменения. Измерения практически полностью переходят на цифровые методы, воплощенные в приборах с цифровым отсчетом и регистрацией; существенно расширяются диапазоны измеряемых величин; в измерительных системах широко применяется аналоговая и цифровая микроэлектроника; возникла необходимость в измерении характеристик случайных процессов. Все это требует нового подхода к состоянию средств электро-диоизмерений, к соответствию их метрологических свойств установленным нормам.

В условиях широкого международного сотрудничества нужно особенно зорко следить за единством измерений. В одном цехе может работать оборудование, поставленное фирмами разных стран. Представьте, что какая-либо фирма не выполнила рекомендаций СИ или требований Международной организации законодательной метрологии (МОЗМ). Это может привести к конфликтной ситуации в международной торговле, к потере авторитета и

возможности экспорта этой фирмой или даже ее страной. Повышая качество измерений и контроля, делая сегодня измеримым то, что вчера нельзя было измерить, метрологи оказывают непосредственное влияние на технический уровень технологических процессов и обеспечивают выпуск продукции высокого качества. Например, применяя в машиностроении для контроля качества поверхности деталей лазеры, удается упростить технологию, обойтись без ряда подгоночных и притирочных операций, автоматизировать процесс и повысить точность изготовления изделий.

Раньше технологи говорили метрологам: «Давайте ваш метрологический «черный ящик», и мы приспособим его к нашему процессу». Теперь метрологические операции вошли в плоть и кровь технологического процесса, осуществляя четкий контроль над ним. Метрологическое обеспечение стало одним из решающих факторов, определяющих успех новой технологии. Но, как выразился представитель метрологов Великобритании на симпозиуме Европейской организации по контролю качества (ЕОКК): «Для хорошего качества нужна хорошая метрология». На упомянутом Симпозиуме ЕОКК обсуждалось влияние метрологии на качество любой продукции: от продуктов агропромышленного комплекса до телеизображения в канале цветного телевидения.

Покупателя в молочном магазине интересует только качество молока. Метролога на молочной ферме или на предприятии молочной промышленности волнует и качество молочных продуктов, и состояние сложных измерительных приборов, таких, как капиллярный вискозиметр для измерения условной вязкости молока, как рН-метр для контроля кислотности молока и молочных продуктов, и многих других. Даже качество сигарет или консервированных томатов зависит от погрешности устройства распознавания цвета листьев табака, применяющегося и для сортировки помидоров.

От достоверности результатов точного дозирования компонентов фармацевтических продуктов зависит качество различных препаратов и лекарств. И в этом нет ничего удивительного. Но если вам скажут, что нужно обеспечить высокую достоверность результатов дозирования компонентов сплава, из которого делают отбойные молотки, вы, пожалуй, не поверите.

А между тем, есть надежда, что в скором будущем мало надежные пневматические молотки будут заменены простыми, дешевыми и надежными нитиноловыми отбойными молотками. Нитинол — это уникальный сплав с памятью, состоящий из 55 % никеля и 45 % титана. Нитиноловая лента «запоминает», что при нагревании она должна изогнуться дугой, а при охлаждении — выпрямиться. В корпусе молотка эта лента с помощью электрического тока и теплоотводящих колодок быстро охлаждается и нагревается вновь, что создает мощные ударные импульсы, достаточные для дробления бетона или камней. Интересно, что усилие, необходимое для изгиба дугой нитиноловой ленты, гораздо меньше силы, возникающей при ее выпрямлении. Оказывается, поведение нитинола нужно описывать с помощью законов микромира! Но для метрологов еще более «интересно» то, что нитинол теряет свою удивительную память при комнатной температуре и начинает проявлять

ее только при температурах выше 100 °С, если отклонения в процентном содержании сплава превысят тысячные доли процента.

С каждым годом усиливается влияние метрологии и стандартизации не только на развитие научно-производственных отношений в народном хозяйстве, но и на отношения людей и общества в целом, потому что в развитом обществе ценятся и производятся только общественно значимые (полезные для общества) измерения, основанные на единстве и достоверности результатов получения измерительной информации. Еще Карл Маркс в «Капитале» писал, что отыскание «общественных мер для оценки количественной стороны полезных вещей» являлось делом развития общества.

Социология — это наука об обществе, отношениях в обществе. Чем выше уровень развития общества, тем сложнее человеческие отношения, тем в большей степени обобществлен труд и растет объем производства. При этом резко возрастают объем и значимость измерений, а также роль задачи обеспечения единства измерений.

Объем производимых измерений растет по отношению к объему производства примерно по квадратичному закону. А объем обмена измерительной информацией за счет увеличения числа связей при обобществлении производства растет по закону факториала от объема измерений. Это значит, что при возрастании объема производства в два раза объем измерений увеличивается в четыре раза, а объем измерительной информации — в 4! раз, т.е. в 24 раза. Участие метрологов в охране окружающей среды тоже вносит свою лепту во влияние метрологии на жизнь общества. А борьба за повышение точности? Путь повышения точности измерений — путь наиболее рационального использования и наименьших потерь общественного труда. Высокая точность производства повышает общую полезность его продукта. Велика социально-экономическая эффективность затрат производственных ресурсов на измерения. Каждый рубль, затраченный на метрологическое обеспечение народного хозяйства, дает 5 – 6 рублей экономического эффекта. Примерно 2 % национального богатства СССР составляют средства измерений.

Таким образом, обеспечение высокого качества любой продукции можно обеспечить при условии оснащенности производства достаточным количеством необходимых средств измерений и соблюдением соответствующих стандартов. На любом предприятии метрологи и работники отделов стандартизации так же нужны, как и слесари, токари, электрики. Т.е. метрология из средства контроля на наших глазах превратилась в непосредственную производительную силу, определяющую пути и темпы развития народного хозяйства. Какие же проблемы способны решать сегодняшние методы и средства измерений? Можно ли беспрестанно повышать точность, чувствительность и быстродействие измерительных приборов? Каким образом взаимодействует метрология с другими науками, как она влияет на наше настоящее и будущее? На эти и другие вопросы попытались найти ответы авторы в данной работе.

## 2 Общие сведения о метрологии

Научная метрология, являясь базой измерительной техники, занимается изучением проблем измерения в целом и образующих измерение элементов: средств и приборов измерений, физических величин и их единиц, методов и методик измерений, результатов и погрешностей измерений и пр.

Для оценки технического состояния технических систем (ТС) в эксплуатации производят измерения ее выходных параметров и на основе измерительной информации принимают решение о пригодности ТС к дальнейшей эксплуатации или необходимости профилактических (ремонтных) воздействий.

В простейшем случае модель измерения (рисунок 2.1) может быть описана функциональной зависимостью изменения выходного сигнала  $y$  от изменения входного сигнала  $x$ , как  $y = f(x)$ .

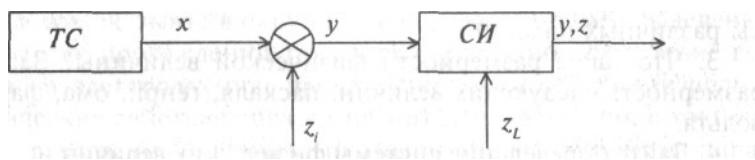


Рисунок 2.1 – Модель измерения

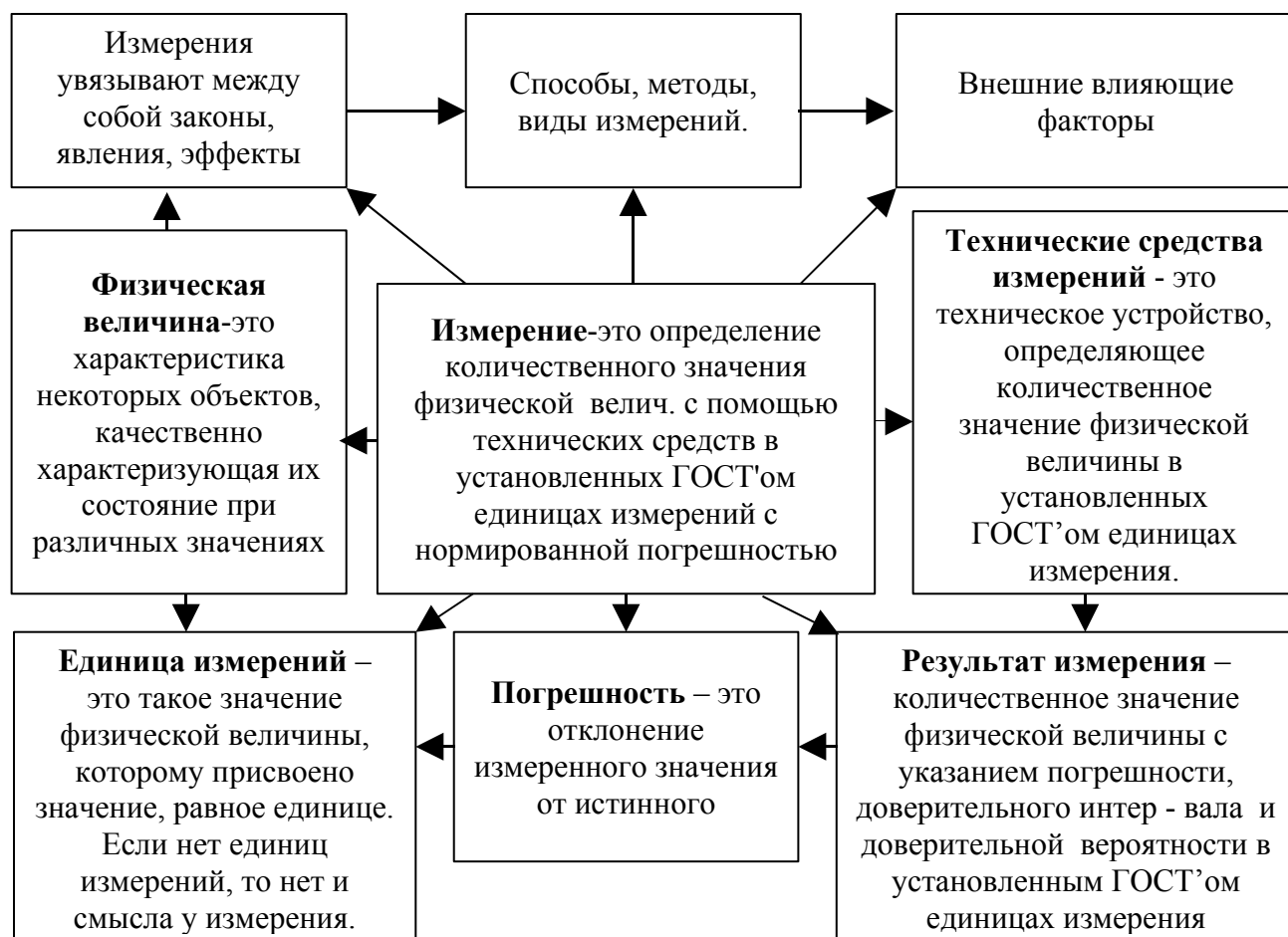
Однако в процессе измерений возникают различные внешние и внутренние помехи  $z_1, z_2, \dots$ , которые вносят погрешность в результат измерения. Причем каждая из составляющих имеет свою плотность вероятности  $f(x), f(y), f(z)$ . Это определяет тот факт, что при многократном измерении одной и той же величины  $x$  одним и тем же средством измерения в одинаковых условиях результаты измерения, как правило, различаются между собой и не совпадают с истинным  $x_{и}$  значением физической величины  $y_1 \neq y_2 \neq \dots \neq x_{и}$ .

Под истинным значением физической величины понимается значение, которое идеальным образом отражало бы в качественном и количественном отношениях соответствующие свойства ТС через ее выходной параметр. Истинное значение есть идеальное значение, поэтому используют действительное значение  $x_{д}$ , найденное экспериментальным методом (в качестве наиболее близкого к нему), например, с помощью более точных СИ. Изложенное позволяет сформулировать основные постулаты метрологии.

### 2.1 Основные метрологические понятия

Метрология – наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности. В основе метрологии лежат физические измерения.

Основные метрологические понятия, содержание и структурные связи физических измерений приведены в виде структурной схемы на рисунке 2.2.



**Рисунок 2.2**

К метрологии относят: общую теорию измерений; единицы физических величин и их системы; методы и средства измерений; методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений и единообразия средств измерений; эталоны и образцовые средства измерений; методы передачи размеров единиц от эталонов или образцовых средств измерений рабочим средствам измерений.

Измерение, т.е. определение числового значения той или иной физической величины, играет исключительную роль в хозяйственной деятельности человека. Нет такой области науки и техники, нет такой отрасли промышленности и сельского хозяйства, где одним из решающих факторов не было бы измерение как таковое. Измерения становятся всё более мощным инструментом познания и экологии. Как и во всякой науке в экологии должны занять своё место метрология и информационные технологии. Для этого необходимо овладеть не только основными понятиями науки об измерениях, методами и средствами измерений, но и обеспечить их единство, создать способы достижения требуемой точности в экологических исследованиях.

Измерения классифицируются с трёх точек зрения: с методологической, т.е. в зависимости от общих приемов получения результатов измерений (виды или классы измерений), по способу нахождения числового значения физической величины; с точки зрения использования принципов и средств измерений (методы измерений); в зависимости от динамики измеряемых

величин, т.е. по характеру зависимости физической величины от времени измерения.

Измерения должны выполняться в общепринятых единицах. Такие единицы устанавливающиеся в каждой стране законодательством с учетом рекомендаций международных организаций.

В нашей стране с 1963 года введены международная система единиц СИ (System International). Основными единицами системы СИ являются: метр (м), килограмм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвин (К), моль (моль), кандела (кд).

Необходимость перехода к СИ продиктована требованиями повышения точности измерений, унификации и уточнения единиц физических величин.

Итак, *физическая величина* – это одно из свойств физического объекта (явления), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но индивидуальное для каждого из них в количественном отношении.

***Физические величины подразделяются:***

а) *с точки зрения удобства образования из них систем:*

- основные;
- производные.

б) *в зависимости от множества размеров, которые они могут иметь при изменении в ограниченном диапазоне:*

- непрерывные (аналоговые);
- квантованные (дискретные) по размеру (уровню).

*Аналоговая величина* может иметь в заданном диапазоне бесконечное множество размеров (напряжение, сила тока, температура).

*Квантованная величина* имеет в заданном диапазоне только счетное множество размеров (малый электрический заряд, размер которого определяется числом входящих в него зарядов электронов). Размеры квантованной величины могут соответствовать только определенным уровням – *уровням квантования*. Разность двух соседних уровней квантования называют *ступенью квантования (квантом)*.

в) *в зависимости от изменений во времени:*

- постоянными;
- переменными.

При измерении постоянной во времени физической величины достаточно определить одно ее мгновенное значение. Переменные во времени величины могут иметь *квазидетерминированный* или *случайный* характер изменения. *Квазидетерминированная физическая величина* – величина для которой известен вид зависимости от времени, но неизвестен измеряемый параметр этой зависимости. *Случайная физическая величина* – величина, размер которой изменяется во времени случайным образом.

г) *в зависимости от способности создавать сигналы измерительной информации:*

- активные, которые способны без вспомогательных источников энергии создавать сигналы измерительной информации (механическая сила, ЭДС);
- пассивные, которые сами не могут создавать сигналы измерительной

информации, а нуждаются в активизировании с помощью вспомогательных источников энергии (масса, электрическое сопротивление).

Для установления различия в количественном содержании свойства физической величины вводится понятие *размера физической величины* – количественной определенности, присущей конкретному объекту.

*Значение физической величины* – это ее количественная оценка, представленная числом с единицей этой величины.

*Единицы измерения физических величин* делятся на:

- **основные** – единицы, выбранные произвольно для составления системы;
- **производные** – единицы, образуемые из основных по определенным уравнениям или законам;
- **внесистемные** – единицы, не входящие в системы;
- **кратные** – единицы, большие системных и внесистемных единиц в целое число раз;
- **дольные** – единицы, меньшие системных и внесистемных единиц в целое число раз;
- **эталон** – мера, практически не имеющая погрешности.

**Шкала физической величины** – это упорядоченная совокупность значений физической величины, служащая основой для измерения данной величины

Различают следующие виды шкал:

- шкала наименований (шкала цветов в виде атласа цветов);
- шкала порядка, описывается отношением эквивалентности или порядка количественного проявления свойства (шкала баллов силы ветра, землетрясений);
- абсолютные шкалы, которые присущи относительным единицам, коэффициентам усиления или ослабления, амплитудной модуляции и т.д.

**Цена деления шкалы** — разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы. Приборы с равномерной шкалой имеют постоянную цену деления, а с неравномерной — переменную. В этом случае нормируется минимальная цена деления.

**Диапазон измерений**— область значений измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые пределы погрешности СИ (для преобразователей — это диапазон преобразования).

**Предел измерения** — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерения. Для мер — это номинальное значение воспроизводимой величины.

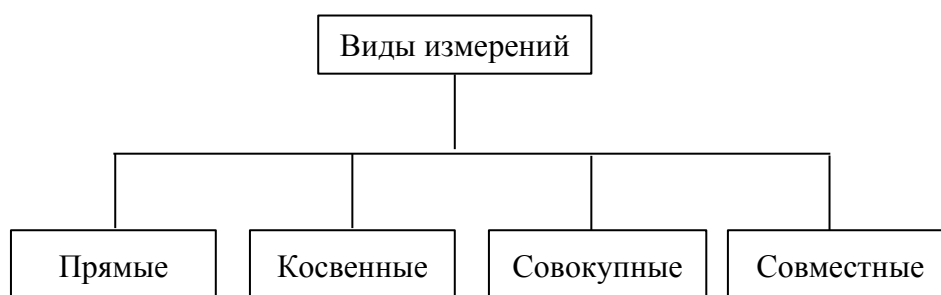
**Чувствительность** — отношение изменения сигнала  $\Delta u$  на выходе СИ к вызвавшему это изменение изменению  $\Delta x$  сигнала на входе

## 2.2 Виды и методы измерений



При измерениях используют понятие «информация». Информация – это совокупность сведений, уменьшающих начальную неопределенность знаний об объекте. Информацию о значениях измеряемых физических величин называют *измерительной информацией*. Материальный носитель информации – *сигнал*. *Сигналом* в общем смысле является физический процесс, протекающий во времени. Сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной, называют *сигналом измерительной информации*. Сигнал измерительной информации имеет *информативный параметр* – параметр, функционально связанный с измеряемой величиной, и *неинформативные параметры* – параметры, не связанные функционально с измеряемой величиной. Измерения как экспериментальные процедуры определения значений измеряемых величин весьма разнообразны, что объясняется множеством измеряемых величин, различным характером их изменения во времени, различными требованиями к точности измерений и т.д.

Физические измерения подразделяются на прямые, косвенные, совокупные и совместные (рисунок 2.3).



**Рисунок 2.3**

*Косвенные измерения* – измерения, при которых искомое значение физической величины находят на основании известной математической зависимости между искомой величиной и величинами-аргументами, полученными при прямых измерениях (например, площадь крышки стола:  $y = x_1 \cdot x_2$ ).

$$Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n) \quad (2.1)$$

*Совокупные и совместные измерения* по физическому смыслу являются: первые обобщением прямых, а вторые – обобщением косвенных измерений.

Совместные и совокупные измерения близки по способам нахождения искомых значений величин. В обоих случаях они находятся решением системы уравнений в которых и отдельные члены получены в результате обычно прямых измерений. Отличие состоит в том, что при совокупных измерениях одновременно измеряют несколько одноименных величин, а при совместных – разноименных. Число уравнений должно быть равно числу искомых величин:

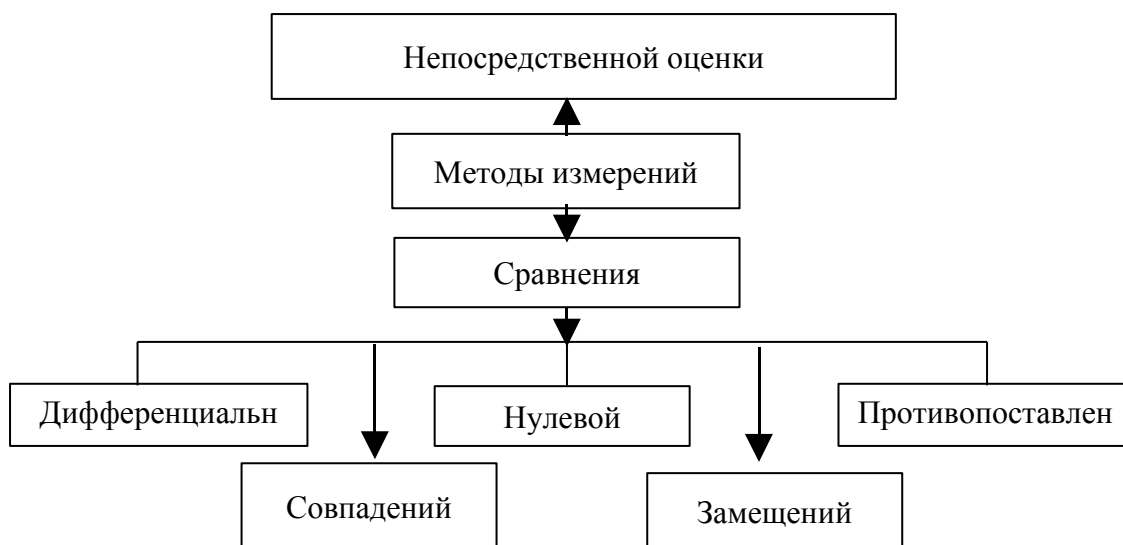
$$\begin{aligned} f_1(y_1, y_2, y_3, \dots, x'_1, x'_2, x'_3, \dots) &= 0 \\ f_2(y_1, y_2, y_3, \dots, x''_1, x''_2, x''_3, \dots) &= 0 \end{aligned} \quad (2.2)$$

где  $y_1, y_2, y_3$  - искомые величины;

$x_1, x_2, x_3 \dots$  – непосредственно измеренные.

Решая совместно уравнений, находят искомые величины.

Методы измерений являются совокупностью приемов использования физических явлений, на которых основаны измерения, принципов сравнения измеряемой величины с мерой и средств измерений. Различают методы измерения непосредственной оценки и сравнения с мерой (см. рисунок 2.4).



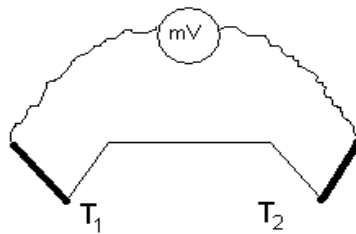
**Рисунок 2.4**

*Метод непосредственной оценки.* По показаниям измерительных приборов оценивается вся измеряемая величина. Для оценки измеряемой величины достаточно использовать заранее отградуированный прибор (косвенное сравнение с мерой, которая непосредственно не участвует). Метод прост, поэтому более распространен, хотя точность невысока.

*Метод сравнения.* Измеряемая величина сравнивается с величиной, воспроизводимой мерой, т.е. мера участвует в процессе измерения. Этот метод более точен, но несколько сложнее.

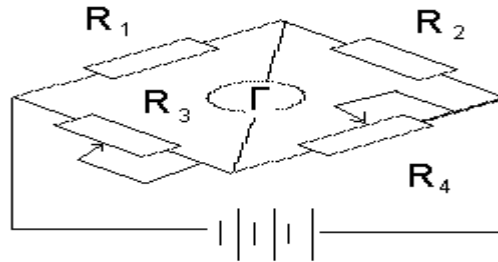
Методы сравнения подразделяются на следующие:

а) *дифференциальный* (или разностный) метод – это метод сравнения с мерой, когда о результате судят по разности  $\Delta X$  между измеряемой величиной  $X$  и известной величиной  $X_0$ , воспроизводимой мерой. Например, измерение дифференциальной термопарой (рисунок 2.5);



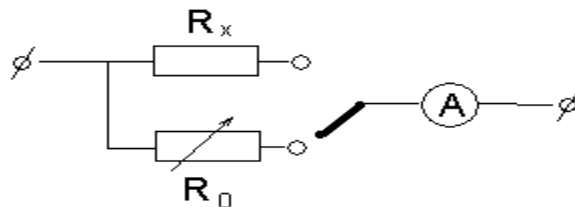
**Рисунок 2.5**

б) *нулевой метод* (частный случай дифференциального метода) – метод сравнения измеряемой величины с мерой, при котором результирующий эффект воздействия величины на индикатор доводится до нуля. Например, измерительный мост (рисунок 2.6);



**Рисунок 2.6**

в) *метод замещения* – заключается в поочередном измерении искомой величины прибором и измерении этим же прибором меры. Например, измерение большого сопротивления на постоянном токе путем поочередного измерения силы тока, протекающего через контролируемый резистор и образцовый (рисунок 2.7);



**Рисунок 2.7**

г) *метод совпадения* – это когда разность между измеряемой величиной и мерой измеряют используя совпадение отметок шкал или периодических сигналов (например, стробоскоп, штангенциркуль и т.д.);

д) *метод противопоставления* – метод, в котором измеряемая величина и известная величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействует на прибор сравнения с помощью показаний которого устанавливается соотношение между ними. Метод применяют при измерении ЭДС, напряжения, тока (компенсационный метод).

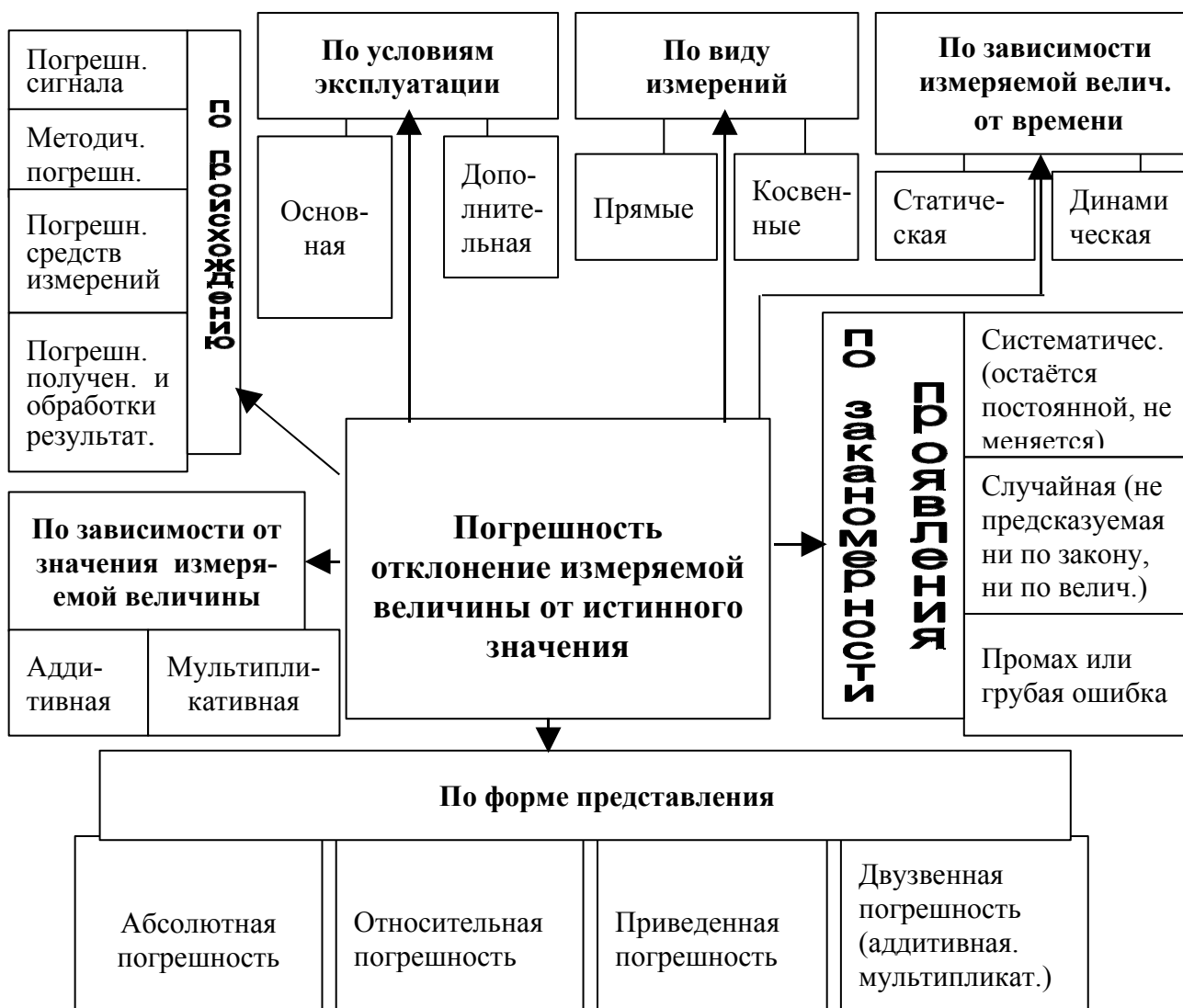
По характеру зависимости измеряемой величины от времени измерения методы разделяются на *статические*, при которых измеряемая величина остается постоянной во времени в процессе измерения, и *динамические*, при которых измеряемая величина изменяется в процессе измерения и является непостоянной во времени.

Если измерительные системы позволяют непрерывно следить за измеряемой величиной, такие измерения называются *непрерывными*. Если позволяют следить только в отдельные моменты времени, то измерения называются *дискретными*.

### 2.3 Погрешности измерений

При практическом использовании тех или иных измерений важно оценить их точность. Термин «точность измерений», т. е. степень приближения результатов измерения к некоторому действительному значению, не имеет строгого определения и используется для качественного сравнения измерительных операций. Для количественной оценки используется понятие «погрешность измерений» (чем меньше погрешность, тем выше точность). Оценка погрешности измерений – одно из важных мероприятий по обеспечению единства измерений.

Измерения можно считать законченным только тогда, когда известна точность измерения. Поэтому при каждом измерении необходимо знать погрешность. Классификация погрешностей по различным признакам представлена схемой на рисунке 2.8.



## Рисунок 2.8

*Погрешность сигнала* – это влияние на результат измерения искажение входного сигнала. Например, отклонение от синусоиды.

*Методическая погрешность* происходит от несовершенства метода измерения, использования упрощающих предположений и допущений, влияния измерительного прибора на объект измерения.

*Инструментальная (или приборная) погрешность* может быть вызвана неточностью градуировки, конструктивным несовершенством, измерением характеристик прибора в процессе эксплуатации и т.д. (это основная погрешность)

*Погрешность получения и обработки результатов измерений* обусловлена неточными предположениями и допущениями при выводе применяемых формул, а также неточностью производимых по формулам расчетов.

*Основная погрешность* - это погрешность средств измерения, используемого в нормальных условиях эксплуатации. Класс точности (основная погрешность) является обобщенной характеристикой средств измерения, определяющей пределы допустимых основных и дополнительных погрешностей, т.е. классом точности задается максимальная возможная ошибка результата.

*Дополнительная погрешность* – это погрешность, превышающая допустимую, т.е. стандартную ошибку, вызванную отклонением условий, в которой работает прибор.

При косвенных измерениях, когда конечный результат находится путем подстановки непосредственно измеренных величин в некоторую формулу, точность может зависеть и от степени приближения при описании этой формулой используемой зависимости.

*Динамические погрешности* возникают из-за инерционности применяемых технических средств при достаточно быстрых изменениях измеряемой величины.

Грубые или промахи связаны с невнимательностью исследователя.

*Систематическая погрешность* связана со сдвигом измеряемого значения относительно истинного. Если известна причина и если удастся найти величину сдвига, то систематическую погрешность можно исключить введением поправки к измененному значению.

Поправкой называется абсолютная погрешность, взятая с обратным знаком. Разность между средним арифметическим результатом и значением меры равна искомой систематической погрешности.

*Случайные погрешности*, это ошибки, которые проявляются в разбросе отсчетов при повторных измерениях. Обусловлены они изменяющимися факторами при измерениях. Проведя измерения и используя результаты теории погрешностей, можно дать количественную оценку ошибки и указать вероятность, при которой истинное значение измеряемой величины находится

внутри некоторого интервала (доверительный интервал). Случайную ошибку можно уменьшить многократным повторением измерения или улучшением методики измерения.

В зависимости от способа выражения погрешности измерения различают *абсолютную погрешность, относительную погрешность и приведенную погрешность.*

*Абсолютная погрешность* – это разность между измеренным и истинным значениями физической величины, выражается в единицах измеряемой величины:

$$\Delta_X = X_{\text{изм}} - X_0, \quad (2.3)$$

где  $X_0$  – истинное значение физической величины;  
 $X_{\text{изм}}$  – измеренное значение физической величины.

Абсолютная погрешность в зависимости от ее изменения при изменении измеряемой величины на входе может быть *аддитивной* и *мультипликативной*.

Если абсолютная погрешность измеряемой величины в процессе измерения не изменяется, то имеет место аддитивная абсолютная погрешность (см. ниже рисунок 2.9 а). *Аддитивная погрешность* вызвана трением в опорах, неточностью отсчета, шумом наводкой, вибрацией и т.д. От нее зависит наименьшее значение величины, которая может измерена прибором. Если же в процессе измерения абсолютная погрешность изменяется, то имеет место мультипликативная абсолютная погрешность (см. ниже рисунок 2.9 б). *Мультипликативная погрешность* (множительная) возникает под влиянием внешних факторов и старение конструктивных узлов прибора.

*Относительная погрешность* – это отношение абсолютной погрешности к истинному значению измеряемой физической величины, обычно выражается в процентах:

$$\delta_X = \Delta_X / X_0 \approx \Delta_X / X_{\text{изм}} \quad (2.4)$$

*Приведенная погрешность* – это есть отношение абсолютной погрешности к нормирующему значению измеряемой величины. Нормирующее значение может быть выбрано разным; оно устанавливается стандартными. Наиболее распространенным нормирующим значением является верхний предел измерения данным прибором, т.е. номиналом (приведенная погрешность):

$$\gamma_X = \Delta_X / X_N, \quad (2.5)$$

где  $X_N$  – нормирующее значение измеряемой величины.

В качестве истинного значения при многократных измерениях параметра выступает среднее арифметическое значение  $\bar{x}$

$$x_H \approx \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i. \quad (2.6)$$

Величина  $x$ , полученная в одной серии измерений, является случайным приближением к  $x_u$ . Для оценки ее возможных отклонений от  $x_u$  определяют опытное среднее квадратическое отклонение (СКО):

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}. \quad (2.7)$$

Для оценки рассеяния отдельных результатов  $x_i$  измерения относительно среднего  $\bar{x}$  определяют СКО:

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n \geq 20$$

или\*

$$\sigma_{\bar{x}} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad \text{при } n < 20. \quad (2.8)$$

Среднее арифметическое из ряда измерений всегда имеет меньшую погрешность, чем погрешность каждого определенного измерения. Если необходимо повысить точность результата (при исключенной систематической погрешности) в 2 раза, то число измерений нужно увеличить в 4 раза; если требуется увеличить точность в 3 раза, то число измерений увеличивают в 9 раз и т. д.\*

Специфическим видом погрешности цифровых СИ и дискретных преобразователей является погрешность квантования, которая вносится округлением значения измеряемой величины и номинального значения. На рисунке 2.9 приведена текущая разность (погрешность квантования) номинальной (линия 1) и реальной (линия 2) характеристик цифрового СИ в полосе (штриховые линии) погрешностей. Поскольку измеряемая величина может принимать случайные значения в интервале от  $+Д$  до  $-Д$ , то погрешность квантования есть случайная аддитивная статическая погрешность. Она не

---

\* Применение формул (2.8) правомерно при условии постоянства измеряемой величины в процессе измерения. Если при измерении величина изменяется, как при измерении температуры остывающего металла или измерении потенциала проводника через равные отрезки длины, то в формулах (2.8) в качестве  $\bar{x}$  следует брать какую-то постоянную величину, например начало отсчета.

\* Более подробную информацию о погрешностях измерений и обработке результатов измерений можно найти в источнике (Сергеев).

зависит ни от текущего значения, ни от скорости изменения во времени. На рисунке 2.9 величина  $q$  — шаг квантования по уровню.

Наличие погрешностей приводит к тому, что характеристики СИ (датчиков, приборов, каналов ИИС и ИВК) оказываются неоднозначными. При экспериментальном их определении (градуирование СИ) находят некую среднюю линию. Тогда реальные отношения характеристик от этой аппроксимирующей являются погрешностью адекватности.

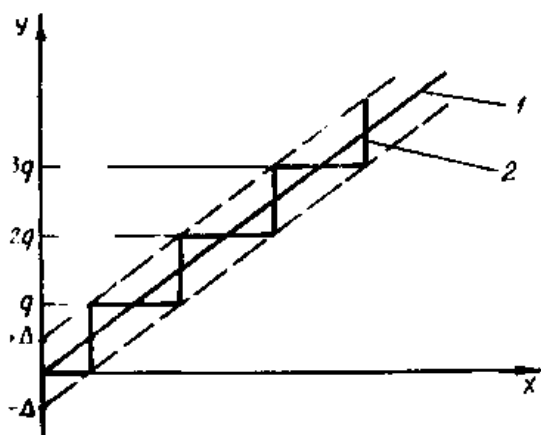


Рисунок 2.9 – Квантование погрешности цифровых СИ

От рассеяния результата измерения следует отличать рассеяние показания СИ и рассеяние самой измеряемой величины, характеризующее однородность (стабильность) измерительного процесса. Последнее особенно важно учитывать при диагностических измерениях.

Типовые (градуировочные) характеристики, предназначенные для оценки результатов измерений, нормируют как номинальные характеристики СИ данного типа. Для отдельных экземпляров СИ допускается использование одной при нескольких индивидуальных характеристиках с указанием границ в конкретных условиях применения.

Требования к повышению качества измерений заставляют метрологов и приборостроителей постоянно пребывать в поисках путей повышения точности. Неисчерпаемой «кладовой» новых для метрологии принципов и методов служат идеи кибернетики. Кстати, тестовые методы подарила метрологии тоже она.

Очень эффективен принцип замкнутых систем с глубокой отрицательной обратной связью, особенно, если он сочетается с принципом действия самонастраивающихся систем управления. Такие системы являются адаптивными, т.е. самоприспосабливающимися, казалось бы, нужны они роботам, работающим в условиях непрерывных внешних возмущений, а причем тут приборы? Могут ли приборы самонастраиваться, приспособливаться к условиям измерений?

На этот вопрос положительно отвечают ученые Института электродинамики АН УССР, внедрившие в промышленность ряд самонастраивающихся электроизмерительных приборов, в частности, стабилизированные источники



переменного тока, широкополосные и избирательные усилители. Сторонники кибернетических методов утверждают, что регулировка, градуировка и калибровка средств измерений давно исчерпали себя. Рассмотрим, что означают эти термины.

В измерительном приборе или преобразователе почти всегда найдется такой схемный элемент, изменение параметров которого позволяет уменьшить систематическую погрешность. Регулировкой нуля уменьшают погрешность, постоянную для каждой точки шкалы (аддитивную), а регулировкой чувствительности уменьшают погрешность, меняющуюся линейно с изменением измеряемой величины (мультипликативную).

Градуировка — это метрологическая операция, в ходе которой измерительный прибор или мера снабжаются шкалой или градуировочной таблицей. Точные средства градуируются по образцовым индивидуально, а менее точные снабжаются типовой шкалой или стандартной таблицей.

И, наконец, сложный способ поверки мер — калибровка. Его необходимость объясняется тем, что по мере продвижения по поверочной схеме вверх к эталону сокращается число мер, различных по номинальному значению. На верхней ступени поверочной схемы часто имеется эталон (точнейшая мера) только одного значения. При несоответствии номинальных значений совокупности поверяемых мер (или многозначной меры) и диапазонов исходных образцовых средств поверки приходится сравнивать меры в различных комбинациях, а затем решать полученную систему уравнений для вычисления действительных значений мер. Это и есть калибровка.

Нужно отметить, что рассмотренные термины часто путают. В русском языке регулировку прибора нередко называют калибровкой. Путанице способствует то обстоятельство, что за рубежом и поверку прибора именуют калибровкой. Но при всей путанице в терминологии всем действительно ясно, что даже автоматизация процедур регулировки, градуировки и калибровки не спасает точность приборов при быстрой смене условий окружающей среды. А ведь именно такая ситуация возникает при работе аппаратуры в космосе, морских глубинах, да и на Земле — в составе ГПС. И проявляется эта ситуация в дополнительных динамических погрешностях, которые не удается скомпенсировать другими известными методами. Наилучший выход здесь — применение поисковых самонастраивающихся систем с эталонной моделью.

Для уменьшения статической мультипликативной погрешности сейчас широко используются приборы с замкнутой схемой обратной связи, аналогичные следящим системам автоматического управления. Но глубокая отрицательная обратная связь уменьшает чувствительность прибора, ухудшает его селективные (избирательные) свойства, а для неэлектрических величин трудно реализуема. Поэтому с мультипликативными погрешностями, вызванными медленным изменением (например, старением) параметров элементов аналоговых схем, предложено бороться, реализуя в приборах поисковые и беспойсковые самонастраивающиеся системы.

Что же такое самонастраивающаяся система? Это система автоматического управления, в которой к основному контуру управления добавлен контур самонастройки. Последний позволяет в процессе выполнения основной задачи

изменять характеристики системы для компенсации действующих на нее возмущений. Например, в основном контуре может осуществляться управление по отклонению коэффициента усиления от заданного значения, а в контуре самонастройки — по отклонению установившейся, или статической погрешности от требуемой.

В контуре самонастройки анализируется значение погрешности и вырабатывается корректирующее воздействие, изменяющее характеристики основного контура без изменения его структуры. Это воздействие вырабатывается непрерывно, благодаря чему динамические характеристики прибора не ухудшаются.

В самонастраивающихся системах с эталонной моделью непрерывно сравниваются реакции модели и системы на одни и те же входные воздействия. Если входные воздействия осуществляются измеряемой величиной, система называется беспойсковой, если специальным пробным сигналом — поисковой системой.

Эталонная модель, как правило, проста, стабильна и надежна. Задача контура самонастройки заключается в приближении реакции системы к реакции модели. Параметры основного контура изменяются в зависимости от значения разности между этими двумя реакциями.

Изложенное выше позволяет дать некоторые *практические рекомендации*, которые можно использовать при проведении измерений.

1. Во всех случаях расчетов считается, что погрешности измерения по абсолютной величине существенно меньше измеряемой величины.

2. При суммировании случайных погрешностей промежуточные значения коэффициента корреляции от 0 до 1 практически не учитываются, принимая либо наличие жесткой связи при  $\rho > 0,7$ , либо ее полное отсутствие при  $\rho < 0,7$ .

3. Случайные погрешности характеризуются следующими аксиомами:

а) малые по величине случайные погрешности встречаются чаще, чем большие;

б) отрицательные и положительные погрешности, равные по величине, встречаются одинаково часто;

в) для каждого метода изготовления изделия есть свой предел, за которым погрешности практически не встречаются.

4. Погрешность несоответствия математической модели реальному объекту измерения не должна превышать 10 % заданной погрешности измерения. Поскольку погрешность результата определяется составляющей, имеющей наибольшую погрешность, стремление уменьшить другие составляющие практически не имеет смысла.

В этих условиях улучшение метрологических характеристик СИ не дает заметного снижения результирующей погрешности измерения – нужно изменить, например, методику измерений. Это обстоятельство частично объясняет наличие большого количества нестандартизованных СИ, когда при их применении стараются от косвенных методов измерения перейти к прямым.

5. Нестабильность измеряемого параметра в течение времени измерения не должна превышать 10 % заданной погрешности измерений. Строго говоря, измерять можно только постоянные величины.

Если говорят об измерении переменных величин, то под этим понимают либо измерение постоянных параметров этих величин, либо их измерения в фиксированные моменты времени.

6. Для устранения влияния деформации законов распределения предпочтительным является суммирование составляющих через СКО.

7. Точность обработки числового материала должна быть согласована с точностью измерений. Вычисления с большим количеством десятичных знаков дают лишь ложное представление о повышении точности, требуя больших затрат времени. При округлении результата используют правила математики.

8. Следует пользоваться основным правилом: погрешность, получающаяся в результате вычислений, должна быть на порядок (в 10 раз) меньше суммарной погрешности измерений.

9. В зависимости от условий измерения, свойств объекта, оснастки, алгоритмов обработки информации погрешности измерения одного и того же параметра с помощью одних и тех же СИ могут отличаться в несколько раз.

В целом погрешности технических измерений определяются инструментальными и методическими составляющими. Доля методической составляющей для различных видов измерений колеблется от 5 до 80 %. При динамических измерениях этот разброс еще выше.

*Все виды погрешностей измерений целесообразно свести в две группы:*

1) методические, независимые от СИ (погрешности косвенного измерения; погрешности передачи размера из-за неправильного подключения (установки) СИ к объекту; погрешности из-за ограниченного числа точек измерений, например, при измерении полей; погрешности вычислительных операций);

2) инструментальные, связанные с СИ (погрешности самих СИ; погрешности из-за взаимодействия СИ с объектом; погрешности из-за ограниченной разрешающей способности СИ).

При проведении измерений, как правило, известна лишь погрешность СИ. Поэтому выделение указанных двух групп позволяет:

- оценить потенциальные возможности выбранного метода, выделяя основные методические составляющие из I группы;

- определить ограничивающие факторы по I и II группам и при необходимости повысить точность измерений, принять решение о совершенствовании методики или выборе более точного СИ;

- оценить, какая часть погрешностей может увеличиваться со временем и при изменении внешних факторов, т. е. какая часть погрешностей и когда требует периодической аттестации;

- рассчитать инструментальную составляющую до полной разработки методик выполнения измерений;

- оценить все погрешности по группам I и II, а затем суммировать их по вышеприведенным правилам.

### 3 Технические средства измерений

Средство измерения (СИ) — это техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и (или) хранящее единицу ФВ, размер которой принимается неизменным (в пределах установленной погрешности) в течение известного интервала времени. Под метрологическими характеристиками (МХ) понимают такие характеристики СИ, которые позволяют судить об их пригодности для измерений в известном диапазоне с известной точностью. В отличие от СИ приборы или вещества, не имеющие нормированных МХ, называют индикаторами. СИ — это техническая основа метрологического обеспечения.

По назначению СИ разделяются на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, установки и системы (рисунок 3.1).



Рисунок 3.1 – Классификация СИ

*Мера* может быть однозначной, многозначной, образцовой, рабочей. Может быть набор мер. Однозначная мера воспроизводит физическую величину одного размера (резистор, конденсатор, индуктивность и т.д.). Многозначная мера – воспроизводит ряд значений величин (конденсатор переменной ёмкости, переменный резистор и т.д. вариометр). Наборы мер – специально подобранные комплекты (магазины сопротивлений).

*Измерительная установка*— совокупность функционально объединенных СИ и вспомогательных устройств, расположенных в одном месте. Например, поверочные установки, установки для испытания электротехнических, магнитных и других материалов. Измерительная установка позволяет предусмотреть определенный метод измерения и заранее оценить погрешность измерения.

*Измерительные преобразователи* — СИ, предназначенные для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки и хранения, но не доступной для непосредственного восприятия наблюдателем. Это термопары, измерительные трансформаторы и усилители, преобразователи давления. По месту, занимаемому в измерительной цепи, они делятся на первичные, промежуточные и т. п. Конструктивно они выполняются либо отдельными блоками, либо составной частью СИ. Не следует отождествлять измерительные преобразователи с преобразовательными элементами. Последние не имеют метрологических характеристик, как, например, трансформатор тока или напряжения.

*Измерительная система* — это комплекс СИ и вспомогательных устройств с компонентами связи (проводные, телевизионные и др.), предназначенный для выработки сигналов измерительной информации в форме, удобной для автоматической обработки, передачи и (или) использования в автоматических системах управления.

*Измерительный прибор* — СИ, предназначенное для переработки сигнала измерительной информации в другие, доступные для непосредственного восприятия наблюдателем формы. Различают приборы прямого действия (амперметры, вольтметры, манометры) и приборы сравнения (компараторы). По способу отсчета измеряемой величины СИ делятся на показывающие (аналоговые, цифровые), регистрирующие (на бумажную или магнитную ленту) и т. п.

### **3.1 Измерительные информационные системы**

*Измерительные информационные системы (ИИС)*. В настоящее время получили широкое применение автоматизация методов и средств измерений, переход от единичных приборов к измерительным информационным системам. В ИИС функции отдельных измерительных приборов выполняются единым централизованным автоматическим устройством, связанным с первичными измерительными преобразователями воспринимающими измерительную информацию о множестве физических величин и осуществляющими измерение

этих величин, обработку результатов измерения по определённой программе с последующей выдачей человеку или управляющей машине выходной информации.

В ИИС информация получается непосредственно от изучаемого объекта измерением и контролем, обработкой этой информации и выдачей её в виде совокупности именованных чисел, графиков, общих выводов и команд, человеку или управляющей машине. Для ИИС введена следующая классификация по назначению, представленная на рисунке 3.2.



**Рисунок 3.2**

Измерительные ИИС выполняют прямые, косвенные, совокупные измерения с соответствующей математической обработкой.

ИИС автоматического контроля предназначены для получения информации об отклонениях контролируемых величин от установленных нормальных значений.

ИИС технической диагностики дают информацию о неисправностях и повреждениях какой-либо системы, на основании которой решается задача отыскания места повреждений и установления причин этих повреждений и неисправностей.

Измерительные информационные системы имеют следующие узлы: измерительные преобразователи, коммутирующие устройства, унифицирующие преобразователи, измерительные устройства, устройства математической и логической обработки измерительной информации, устройства выходной информации, а также линии связи.

Развитие нового поколения измерительных информационных систем связано с использованием *микропроцессорных средств*.

### **3.2 Электроизмерительные приборы**

Из большого многообразия средств измерений преимущественное использование получили электрические методы. Это объясняется тем, что электрические методы обладают рядом существенных преимуществ. Во-первых, электрические методы дают возможность непрерывного измерения практически любой электрической и неэлектрической величины. Во-вторых,

они дают возможность измерений величин на расстоянии, в том числе и в труднодоступных местах. В-третьих, электрические методы обладают высокой точностью и большой чувствительностью, дают возможность осуществлять математические операции с данными измерений.

Классификация электроизмерительных приборов по различным признакам представлена на схеме, изображенной на рисунке 3.3.



Рисунок 3.3

Электроизмерительные приборы классифицируются по различным признакам:

- по временному признаку прибору подразделяются на *аналоговые* и *цифровые* (Электроизмерительные приборы, показания которых являются непрерывными функциями измерений измеряемых величин, называются *аналоговыми*, а приборы, автоматически вырабатывающие дискретные сигналы измерительной информации, показания которых представлены в цифровой форме называются *цифровыми*);
- по роду измеряемой величины измерительные приборы делятся на *вольтметры, амперметры, омметры*, и др.;
- по характеру применения измерительные приборы могут быть *стационарные и переносные*;
- по степени защищенности измерительные приборы делятся на *обыкновенные, пыле-, водо- и брызгозащитные, герметические* и др.

Показатели качества средств электроизмерений приведены на рисунке 3.4.

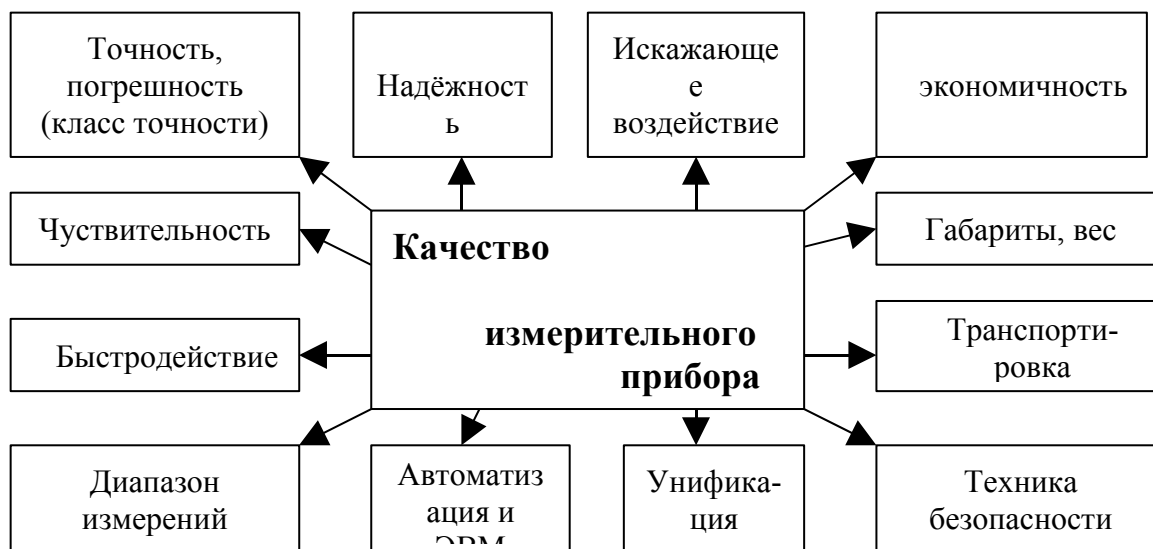


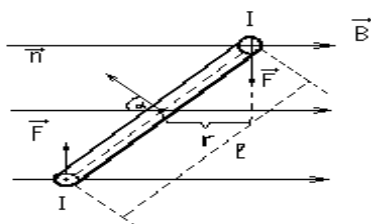
Рисунок 3.4

Качеством измерительного прибора называется совокупность свойств, обеспечивающих определённые потребности в соответствии с их назначением.

### 3.2.1 Аналоговые измерительные приборы

Аналоговыми измерительными приборами называются приборы, показания которых являются непрерывной функцией изменений измеряемой величины. Это приборы прямого преобразования. Они состоят из электрического преобразователя (измерительной цепи), электромеханического преобразователя (измерительного механизма), отсчетного устройства.

Измерительная цепь прибора обеспечивает преобразование измеряемой величины  $X$  в некоторую промежуточную величину  $U$  (ток или напряжение), функционально связанную с измеряемой величиной  $X$ . Величина  $U$  непосредственно воздействует на измерительный механизм.



Аналоговый прибор – это показывающий прибор, т.е. позволяющий считывать показания. Для этого у прибора имеется отсчетное устройство (шкала и указатель). Указатель жестко связан с подвижной частью (ПЧ) измерительного механизма (ИМ),

Рисунок 3.5

осуществляющего обычно преобразование измеряемой электромагнитной величины  $U$  в угловое перемещение подвижной части, а, следовательно, и указателя. То есть в измерительном механизме электрическая энергия



преобразуется в механическую энергию перемещения подвижной части. Обычно применяется угловое перемещение, поэтому рассматриваются не силы, а моменты сил.

Момент, возникающий в ПЧ под действием измеряемой величины, называется вращающим моментом  $M_{ВР}$  (рисунок 3.5).

$$M_{ВР} = 2 \cdot r \cdot F = 2 \cdot l / 2 \cdot \sin \alpha \cdot F, \quad (3.1)$$

Следовательно,  $M_{ВР} = I \cdot F \cdot \sin \alpha$ .

Т.к. сила  $F$  зависит от тока  $I$ , то  $M_{ВР} = f(I, \alpha)$ .

Вращательный момент определяется неоднозначно измеряемой величиной, т.к. в общем случае, кроме зависимости от тока  $I$ , он зависит от угла поворота  $\alpha$  подвижной части. Общее выражение вращательного момента:  $M_{ВР} = d \cdot W_e / d\alpha$ , где  $W_e$  – энергия электромагнитного поля.

По способу создания вращательного момента, электромеханические приборы разделяют на следующие основные группы: магнитоэлектрические, электромагнитные, электродинамические, электростатические, индукционные.

Для того, чтобы угол поворота подвижной части  $\alpha$  измерительного механизма зависел только от измеряемой величины  $I$ , в приборе при повороте ПЧ создается противодействующий момент  $M_{ПР}$ , направленный на встречу вращающему, и зависящий от угла поворота  $\alpha$ . По способу создания противодействующего момента приборы делятся на две группы: с механическими и электрическими противодействующими моментами. Приборы второй группы называются логометрами. В них  $M_{ПР}$  создается тем же способом, что и  $M_{ВР}$ . В приборах первой группы  $M_{ПР}$  создается обычно с помощью упругих элементов – пружины, тонкие нити-растяжки и подвесы, которые при повороте ПЧ закручиваются. При этом  $M_{ПР} = W\alpha$ , где  $W$  – зависит только от свойств упругого элемента и называется удельным противодействующим моментом.

При установившемся положении указателя ПЧ вращающий и противодействующий моменты равны, т.е.  $M_{ВР} = M_{ПР}$ . Т.о. случае измеряемая величина будет определяться только углом  $\alpha$ . Зная аналитические выражения моментов, из полученного равенства можно найти зависимость угла поворота ПЧ от измеряемой величины и параметров прибора.

При работе прибора в динамическом режиме, т.е. при перемещении без установки указателя, кроме рассмотренных моментов возникают и другие моменты: момент инерции, момент сопротивления окружающей среды, момент трения, момент вихревых токов и т.д. Динамический момент, возникающий при движении ПЧ и стремящийся успокоить это движение, называется моментом успокоения  $M_p$ . Этот момент пропорционален коэффициенту успокоения  $P$  и угловой скорости движения ПЧ  $d\alpha/dt$ :

$$M_p = P \cdot d\alpha / dt. \quad (3.2)$$

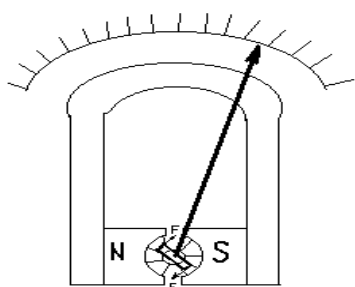
Момент успокоения определяет такой параметр прибора, как время успокоения. Таким образом, независимо от назначения аналогового измерительного прибора и от разновидности применяемого в нем ИМ любой прибор содержит общие для всех аналоговых приборов узлы и элементы. Это – отсчетное устройство, устройства по созданию противодействующего и успокаивающего моментов, опорное устройство. Общими для аналоговых приборов являются и технические требования, определяемые соответствующими ГОСТами.

К преимуществам аналоговых приборов относят относительную простоту, дешевизну, высокую надежность, разнообразие применения, высокую точность (вплоть до 0,05). Недостатки: влияние трения, необходимость в успокоителях.

### 3.2.2 Измерительные механизмы

#### *Магнитоэлектрические измерительные механизмы*

Принципом действия магнитоэлектрических механизмов является взаимодействие сильного магнитного поля постоянного магнита со слабым магнитным полем рамки, по которой течет измеряемый ток.



Полюсные наконечники и цилиндр позволяют создать радиальное поле между полюсными наконечниками и цилиндром. Так как зазор мал, то магнитное поле в нем можно считать однородным. Рамка в поле при любом ее повороте расположена так, что нормаль к плоскости витков направлена перпендикулярно вектору  $B$  индукции магнитного поля (рисунок 3.6).

Рисунок 3.6

Пара сил  $F$  создает вращающий момент  $M_{вр}$ :

$$M_{вр} = dW_M / d\alpha = I \cdot d\Phi / d\alpha, \quad (3.3)$$

где  $\Phi$  – поток, сцепленный с рамкой;

$I$  – измерительный ток.

$$\Phi = B \cdot 2 \cdot r \cdot l \cdot \omega \cdot \alpha = B \cdot s \cdot \omega \cdot \alpha, \quad (3.4)$$

где  $r$  – радиус рамки;

$l$  – ее высота.

Следовательно

$$M_{вр} = Bs\omega I. \quad (3.5)$$

При установившейся подвижной части измерительного механизма имеем равенство  $M_{вр} = M_{пр}$ .

Так как  $M_{пр} = w\alpha$ , то:

$$Bs\omega I = w\alpha \quad (3.6)$$

Отсюда:

$$\alpha = IBs\omega / w, \text{ т.е. } \alpha = kI,$$

где  $k = Bs\omega / w$  – конструктивный параметр прибора.

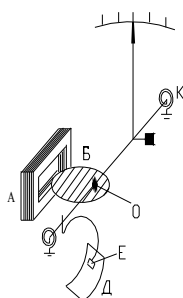
Таким образом, угол поворота рамки пропорционален измеряемому току. Магнитоэлектрический прибор пригоден только для измерения постоянного тока. Шкала прибора равномерная.

Чувствительность ИМ по току  $S_i = \alpha / I = Bs\omega / w$  не зависит от угла и постоянная по всей шкале. Это позволяет их выпускать комбинированными и многопредельными.

Успокоение в магнитоэлектрических приборах магнитоиндуктивное (без специальных успокоителей). Момент магнитоиндукционного успокоения ПЧ определяется взаимодействием магнитного потока с вихревыми токами, возникающими в алюминиевом каркасе рамки при движении ПЧ в поле постоянного магнита.

#### *Электромагнитные измерительные механизмы*

Приборы этой системы предназначены для измерения величины тока и напряжения в цепях переменного и постоянного тока. Действие прибора основано на взаимодействии магнитного поля катушки А (рисунок 3.7), по которой протекает измеряемый ток, и ферромагнитного сердечника Б, являющегося подвижной частью (закреплен эксцентрично на оси и может входить в щель катушки, поворачиваясь вокруг оси О). Под действием магнитного поля катушки сердечник, стремясь расположиться так, чтобы его



пересекало возможно больше силовых линий, втягивается в катушку с увеличением тока.

Противодействующий момент создается спиральными пружинами К. Приборы электромагнитной системы снабжаются воздушным успокоителем, состоящий из цилиндра Д и поршня Е (демпфер).

По устройству электромагнитные механизмы являются самыми простыми среди измерительных механизмов.

Рисунок 3.7

Наибольшее распространение получили три конструкции ИМ: с плоской или круглой катушкой, с замкнутым магнитопроводом.

Определим вращающий момент  $M_{\text{ВР}}$  электромагнитного ИМ. Электромагнитная энергия катушки:  $W_e = L \cdot I^2 / 2$ .

Тогда

$$M_{\text{ВР}} = dW_e / d\alpha = 0.5 \cdot I^2 (dL / d\alpha), \quad (3.7)$$

где  $L$  – индуктивность катушки, зависящей от положения сердечника;

$I$  – величина измеряемого тока;

$\alpha$  – угол поворота ПЧ.

Для упругих элементов:  $M_{\text{ПР}} = w\alpha$ . Тогда для установившегося отклонения ПЧ имеем:

$$0.5 \cdot I^2 (dL / d\alpha) = w\alpha. \quad (3.8)$$

Отсюда

$$\alpha = (1 / w) \cdot I^2 \cdot (dL / d\alpha), \text{ т.е. } \alpha = f(I^2). \quad (3.9)$$

Таким образом, имеем, что знак угла не зависит от направления тока (прибор может применяться для измерения как постоянного, так и переменного тока). В цепях переменного тока такой прибор измеряет действующее значение тока и напряжения. Шкала у электромагнитного прибора неравномерная (определяется зависимостью от  $I^2$  и от  $dL/d\alpha$ ). Подбирая форму сердечника и его расположение в катушке, можно получить практически равномерную шкалу (начиная с 20-25% от верхнего предела), сведя влияние  $dL/d\alpha$  к минимуму.

Достоинством прибора электромагнитной системы является простота конструкции и надежность, способность выдерживать большие нагрузки (так как отсутствуют токоподводы к ПЧ). К недостаткам относятся: большое влияние внешних магнитных полей (так как собственное магнитное поле невелико), относительно малая точность и чувствительность.

*Электродинамические измерительные механизмы.*

Приборы этой системы предназначены для измерения тока, напряжения, мощности в цепях постоянного и переменного тока. В ИМ электродинамического прибора вращающий момент возникает в результате взаимодействия магнитных полей неподвижной и подвижной катушек с током (рисунок 3.8). Неподвижная катушка А обычно состоит из двух половин с воздушным зазором между ними (от зазора зависит конфигурация поля и характер шкалы). Успокоение воздушное или магнитоиндукционное.

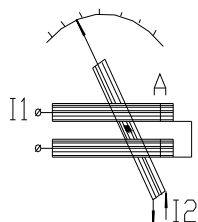


Рисунок 3.8

При наличии тока в катушках возникают силы, стремящиеся повернуть ПЧ так, чтобы магнитные токи неподвижных и подвижной катушек совпали.

Определим вращающий момент. Энергия магнитного поля двух катушек

$$W_e = L_1 I_1^2 / 2 + L_2 I_2^2 / 2 + I_1 I_2 M_{12}, \quad (3.10)$$

где  $M_{12}$  – взаимная индукция между катушками;

$L_1$  и  $L_2$  – индуктивность катушек.

Индуктивность катушек не зависит от угла  $\alpha$ , поэтому

$$M_{BP} = dW_e / d\alpha = I_1 I_2 (dM_{12} / d\alpha). \quad (3.11)$$

Так как  $M_{BP} = M_{ГП}$ , то  $I_1 I_2 (dM_{12} / d\alpha) = w\alpha$ .

Отсюда  $\alpha = (1/w) I_1 I_2 (dM_{12} / d\alpha)$ , т.е.  $\alpha = f(I_1 I_2)$ .

Таким образом, видим, что при одновременном изменении направления токов  $I_1$  и  $I_2$  знак угла не меняется (т.е. прибор может быть использован как в целях постоянного, так и переменного тока).

Характер шкалы зависит от  $I_1$ ,  $I_2$  и  $\frac{dM_{12}}{d\alpha}$ , т.е. от формы катушек и их взаимного расположения (полностью равномерной шкалу сделать нельзя).

Для переменного тока

$$M_{ep.cp.} = I_1 I_2 \frac{dM_{12}}{d\alpha} \cos \psi, \quad (3.12)$$

где  $\psi$  – сдвиг фаз между действующими значениями токов  $I_1$  и  $I_2$ .

Следовательно, прибор может быть использован для измерения электрической мощности. Так как собственное поле невелико, то требуется защита прибора от влияния внешних магнитных полей (экранирование или астразирование). Существуют электродинамические амперметры, вольтметры, ваттметры, а в виде логометров – фазометры, частотомеры, фарадметры.

### 3.2.3 Цифровые измерительные приборы и преобразователи

Настоящий раздел является справочным для студентов, еще не знакомых с основами импульсной и цифровой техники. Здесь приводятся только некоторые основополагающие данные для понимания дальнейшего материала.

По особенностям структуры временного представления все радиотехнические сигналы делятся на аналоговые, дискретные (от лат. discretus — разделенный, прерывистый) и цифровые.

Цифровым измерительным прибором (ЦИП) называется средство измерения, автоматически вырабатывающее дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме.

По виду измеряемых величин цифровые измерительные приборы подразделяются на:

- вольтметры и амперметры постоянного и переменного тока (напряжения);

- омметры и мосты постоянного и переменного тока;

- комбинированные приборы;

- измерители частоты, интервалов времени и фазового сдвига;

- специализированные ЦИП, предназначенные для определения времени срабатывания различных элементов и т.д.

Диапазон измеряемых посредством ЦИП величин обычно весьма широкий и разбивается на ряд поддиапазонов. Выбор нужного поддиапазона в процессе измерения производится вручную или автоматически. Измерение на выбранном поддиапазоне всегда осуществляется автоматически.

Основными классификационными признаками ЦИП принято считать вид измеряемой величины и способ преобразования, определяющие такие важные характеристики, как точность и быстродействие. По виду входных физических величин ЦИП объединяют в следующие основные группы приборов для измерения:

- постоянного и переменного тока (напряжения);

- параметров  $R$ ,  $L$  и  $C$  электрических цепей;

- временных параметров (частоты, периода, временного интервала, фазы).

Разновидностями ЦИП, входящих в упомянутые группы, являются средства измерений с микропроцессорами, виртуальные приборы на основе компьютеров и цифровые осциллографы.

Наиболее важными техническими характеристиками ЦИП, определяющими возможность их использования для конкретной измерительной задачи, являются: пределы измерения, цена деления, входное сопротивление, быстродействие, точность, помехоустойчивость и надежность.

Цену деления шкалы ЦИП можно определить по формуле:

$$z = x_{\max} / 10^m, \quad (3.13)$$

где  $X_{\text{тм}}$  — максимальное значение предела измерения;  $m$  — число разрядов десятичного цифрового отсчета.

Для каждого предела измерения цена деления постоянна и определяет максимально возможную разрешающую способность для данного типа ЦИП.

Разрешающая способность ЦИП — это изменение цифрового отсчета на единицу первого (младшего) разряда. Иногда под разрешающей способностью понимают значение цены деления младшего (для многопредельных приборов) предела ЦИП.

Быстродействие определяется максимальным интервалом времени, необходимым для выполнения одного полного цикла измерения (для ЦИП это время измерения и время индикации) или преобразования (для АЦП) входной величины. Для ЦИП с равномерной временной дискретизацией этот интервал

измерения определяется шагом дискретизации  $\Delta t$ , а быстродействие — количеством измерений (преобразований) в 1 с, т.е. значением  $1/(\Delta t)$ .

Помехоустойчивость ЦИП — способность сохранять необходимую точность измерения при наличии различных возмущающих воздействий (помех). Устранить влияние помех, появляющихся вместе с сигналом на входных зажимах ЦИП, полностью нельзя. Поэтому помехоустойчивость численно характеризуется степенью подавления помех на входе ЦИП. Оценку помехоустойчивости ЦИП обычно вычисляют по отношению к аддитивным, т.е. суммирующимся с полезным сигналом, помехам.

ЦИП наиболее полно удовлетворяют основным требованиям, предъявляемым в настоящее время к измерительной аппаратуре, — высокая точность и быстродействие, автоматизация процессов измерения и обработки информации, поэтому в метрологии они нашли широкое применение.

Импульсная и цифровая техника, будучи тесно и органически связанными друг с другом, отражают различные характеристики функционирования одних и тех же устройств. В частности, импульсные сигналы являются носителями цифровой информации, а импульсные устройства лежат в основе реализации любых цифровых схем. Необходимо также иметь в виду, что импульсная техника связана с формированием, усилением и преобразованием импульсных сигналов по их физическим параметрам (амплитуде, мощности, длительности и частоте следования).

Цифровая же техника занимается только логическим преобразованием информации, которую несут в себе различные последовательности импульсных сигналов, выраженных условными параметрами, например совокупностью различных уровней, или чередованием высоких и низких уровней напряжения. В общем случае цифровые устройства осуществляют следующие логические преобразования сигналов: запоминание, суммирование, умножение, шифрацию и дешифрацию цифровых кодов; деление частоты следования импульсов и ряд других операций.

В цифровой технике для отражения информации используют кодовые слова. Как правило, информация (кодовые слова) представляется импульсными сигналами прямоугольной формы, имеющими два фиксированных уровня напряжения 1 и 0. Таким образом, кодовое слово в цифровой технике имеет вид последовательности символов 1 и 0 определенной длины, например 10110110.

Теоретической базой построения систем цифровой обработки информации являются дискретная математика и алгебра логики Дж. Буля. В алгебре логики различные логические соотношения могут иметь лишь два значения: истинно или ложно. В основе алгебры логики лежат три основные элементарные операции: ИЛИ (логическое сложение, или дизъюнкция), И (логическое умножение, или конъюнкция), НЕ (логическое отрицание, или инверсия).

В заключение отметим следующее. Перспективным направлением развития ЦИП является применение микропроцессоров, которые обеспечивают управление процессом измерения, самодиагностику, автоматическую градуировку по заданной программе, а также первичную обработку результатов измерения (линеаризацию функции преобразования, коррекцию погрешностей,

сжатие данных, т.е. уменьшение избыточности измеряемой информации). В настоящее время элементной базой ЦИП являются аналоговые и цифровые интегральные микросхемы, что позволяет достигнуть высокого быстродействия и малых габаритных размеров приборов. Применение интегральных микросхем большой степени интеграции значительно расширило функциональные возможности ЦИП и повысило их надежность при одновременном снижении потребления энергии. Многие ЦИП имеют автоматический выбор пределов измерения, повышающий точность измерения при большом динамическом диапазоне входного сигнала. Большинство ЦИП могут выполнять операции интегрирования и фильтрации, что значительно повышает их помехоустойчивость.

В последние годы получили применение аналого-дискретные измерительные приборы (АДИП). В отличие от ЦИП в них используют квазианалоговые отсчетные устройства, в которых роль указателя выполняет светящаяся полоса или светящаяся точка, меняющие дискретно свою длину (полоса) или положение (точка) относительно шкалы. Квазианалоговые отсчетные устройства управляются кодом. Такие приборы сочетают в себе достоинства аналоговых приборов (аналоговые отсчетные устройства) и ЦИП (код на выходе).

В настоящее время сформировалось новое направление в метрологии и электроизмерительной технике — компьютерно-измерительные системы (КИС) и их разновидность — виртуальные приборы.

### **3.3 Метрологические характеристики средств измерений и их нормирование**

Каждому виду средств измерений приписываются определенные номинальные (в данном случае близкие к теоретическим) метрологические характеристики. Реальные же характеристики средств измерений, как правило, не совпадают с номинальными характеристиками, что и определяет их инструментальные погрешности.

К метрологическим характеристикам средств измерений относятся те, которые оказывают влияние на результаты и погрешности измерений. С помощью этих характеристик оценивается погрешность измерений, выполняемых используемыми СИ в известных условиях. Для совокупности рабочих средств измерений определенного типа данные о метрологических характеристиках содержатся в нормах, установленных в соответствующих нормативно-технических документах. Причем отдельный экземпляр СИ должен иметь метрологические характеристики, не выходящие за пределы, оговоренные в вышеуказанных документах.

Средства измерений могут применяться в нормальных и рабочих условиях. Эти условия для конкретных видов СИ установлены в стандартах или технических условиях.

Нормальным условиям применения средств измерений должен удовлетворять ряд следующих (основных) требований: температура



окружающего воздуха  $(20 \pm 5)$  °С; относительная влажность  $(65 \pm 15)$  %; атмосферное давление  $(100 \pm 4)$  кПа; напряжение питающей сети  $(220 \pm 4)$  В и  $(115 \pm 2,5)$  В; частота сети  $(50 \pm 1)$  Гц и  $(400 \pm 12)$  Гц. Как следует из перечисленных требований, нормальные условия применения СИ характеризуются диапазоном значений влияющих на них величин типа климатических факторов и параметров электропитания.

Рабочие условия применения СИ определяются диапазоном значений влияющих величин не только климатического характера и параметров электропитания, но и типа механических воздействий. В частности, диапазон климатических воздействий делится на ряд групп, охватывающих широкий диапазон изменения окружающей температуры.

Одной из важнейших метрологических характеристик является погрешность средств измерения, позволяющая оценить инструментальную погрешность (точность) измерения ими физической величины. Причем погрешность средства измерения может быть представлена в форме абсолютной ( $\Delta$ ), относительной ( $\delta$ ) или приведенной ( $\gamma$ ) погрешностей. Указанные погрешности определяются аналогично погрешностям измерений, заданным соответственно выражениями (2.3), (2.4) и (2.5). Однако в них вместо результата измерения  $x$  должно использоваться показание средства измерения (измерительного прибора)  $y$ .

Как отмечалось в разделе 2.3, погрешность СИ, используемого в нормальных условиях, называется основной, а в условиях, не выходящих за границы рабочих, — дополнительной. Для СИ электрических величин основная и дополнительная погрешности нормируются отдельно. Порядок такого нормирования рассмотрен ниже. Здесь же остановимся на формах представления погрешностей СИ, воспользовавшись для их наглядного получения и анализа градуировочной характеристикой СИ.

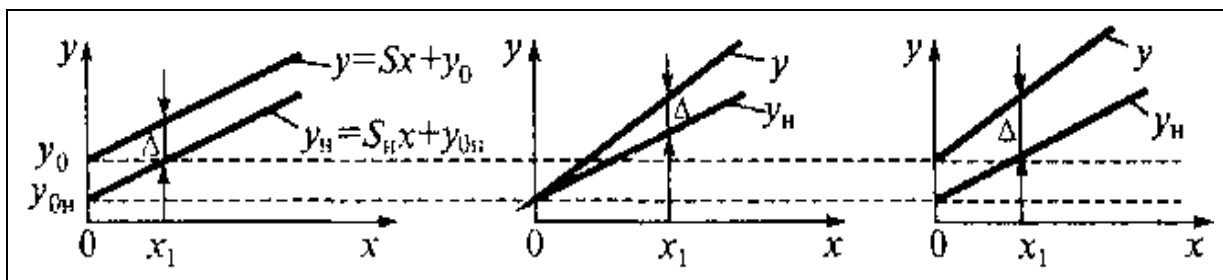
Градуировочной характеристикой средства измерения называется зависимость вида  $y = f(x)$ , имеющая место между его выходной  $y$  и входной  $x$  величинами. Пусть функция  $y_n = f_n(x)$  — номинальная градуировочная характеристика, которой должно обладать СИ, а  $y = f(x)$  — реальная, соответствующая конкретным условиям его использования. Для широкого круга средств измерений данные характеристики имеют следующую аналитическую форму записи:

$$y_n = S_n x + y_{ок} \quad (3.14)$$

$$y = S x + y_о , \quad (3.15)$$

где  $S_n$ ,  $S$  — номинальная и реальная чувствительности СИ;

$y_{он}$ ,  $y_о$  — соответственно выходные величины при отсутствии и наличии так называемой аддитивной составляющей погрешности (рисунок 3.9).



а) аддитивная

б) мультипликативная

в) смешанная

Рисунок 3.9 – Характер отклонений реальной градуировочной характеристики СИ

Абсолютная погрешность СИ равна разности значений реальной и номинальной градуировочной характеристик при одном и том же значении измеряемой величины  $x$ :

$$\Delta = \Delta x = y(x) - y_n(x). \quad (3.16)$$

В общем случае абсолютная погрешность средств измерения  $\Delta$  (рассмотрим случаи, когда она положительна) состоит из аддитивной (суммируемой с измеряемой величиной) и мультипликативной (умножаемой на измеряемую величину) составляющих. Аддитивная составляющая не зависит, а мультипликативная зависит от измеряемой величины  $x$ . Наличие в погрешности  $\Delta$  аддитивной и мультипликативной составляющих связано с характером отклонения реальной градуировочной характеристики СИ от номинальной.

Три возможных случая такого отклонения градуировочной характеристики СИ (для линейного вида зависимости) от номинальной представлены на рисунке 3.9.

Отклонение градуировочной характеристики от номинальной, показанное на рисунке 3.9 а, приводит к появлению в абсолютной погрешности СИ только аддитивной составляющей:

$$\Delta = \Delta x = y - y_n = y_0 - y_{0n} = a, \quad (3.17)$$

где  $a$  — постоянная, выраженная в единицах измеряемой величины.

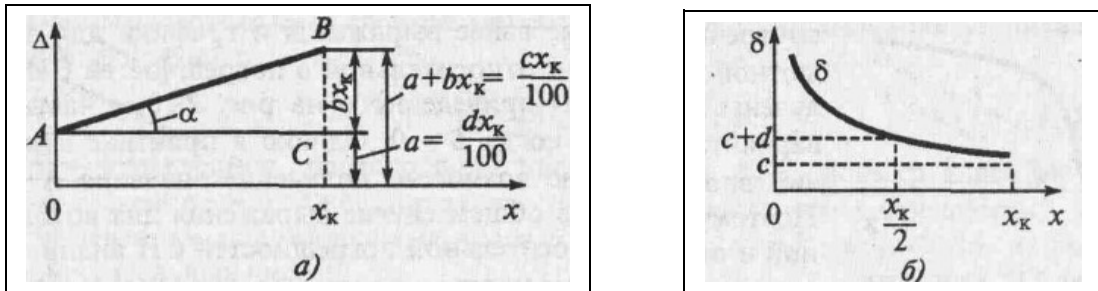
Отклонение характеристик, приведенных на рисунке 3.9 б, вызывает мультипликативную (умножаемую на измеряемую величину) погрешность:

$$\Delta = \Delta x = y - y_n = (S - S_n)x = bx, \quad (3.18)$$

где  $b$  — постоянный коэффициент.

Отклонение характеристик, представленных на рисунке 3.9 в, приводит к появлению в абсолютной погрешности суммы аддитивной и мультипликативной составляющих:

$$\Delta = \Delta x = y - y_n = a + Bx \quad (3.19)$$



**Рисунок 3.10 – Погрешности измерительного прибора**

График абсолютной погрешности СИ общего вида  $\Delta = a + bx$  приведен на рисунке 3.10 а для диапазона измерений  $0 < x < x_k$ , где  $x_k$  — конечное значение диапазона измерений;  $a$  и  $bx$  — соответственно аддитивная и мультипликативная составляющие погрешности измерительного прибора.

Для построения соответствующего графика относительной погрешности (см. рисунок 3.10 б) средств измерений  $\delta = 100 \cdot \Delta / x_{\text{И}} = 100 \cdot \Delta / x$  необходимо учитывать следующее обстоятельство. При оценке относительной погрешности принято значения аддитивной и суммарной составляющих абсолютной погрешности  $\Delta$  выражать в долях конечного значения диапазона измерений  $x_k$  так, как показано на рисунке 3.10 а. Причем в конце диапазона измерений эти составляющие должны быть соответственно равны:

$$a = d \cdot x_k / 100 \quad (3.20)$$

$$a + b \cdot x_k = c \cdot x_k / 100 \quad (3.21)$$

В этих формулах  $d = 100 \cdot a / x_k$  и  $c = 100 \cdot (a + b \cdot x_k) / x_k$  — коэффициенты, характеризующие точность СИ и равные его относительным погрешностям (аддитивной и суммарной соответственно) при  $x = x_k$ . При этом, как следует из рассмотрения треугольника ABC на рисунке 3.9 а, коэффициент  $b$  равен:

$$b = \operatorname{tg} \alpha = BC/AC = (c \cdot x_k - d \cdot x_k) / 100 \cdot x_k = (c - d) / 100 \quad (3.22)$$

С учетом данного значения для  $b$ , а также величины коэффициента  $a$  в (3.20) выражение для относительной погрешности СИ принимает вид:

$$\delta = 100 \cdot \frac{A}{x} = 100 \cdot \frac{a + b}{x} = c + d \cdot \left( \frac{x_k}{x} - 1 \right) \quad (3.23)$$

Из графика функции  $\delta$  (см. рисунок 3.10 б) наглядно видно, что относи-

тельная погрешность СИ  $\delta$  увеличивается и изменяется по гиперболе при уменьшении измеряемой величины  $x$ . Поэтому следует выбирать такой диапазон измерений, в котором значение  $x$  близко к  $x^*$ . Напомним, что рассмотренные выше выражения и графики для абсолютной  $\Delta$  и относительной  $\delta$  погрешностей СИ получены для приведенного на рисунке 3.9 в частного варианта, когда  $\Delta > 0$ . Однако в практике измерений вполне возможно получение значения  $\Delta < 0$ . Поэтому в общем случае выражения для абсолютной и относительной погрешностей СИ аналитически записываются со знаком « $\pm$ ».

Перейдем к рассмотрению порядка нормирования (установки норм) погрешностей средств измерений. Как уже отмечалось ранее, для СИ электрических величин основная и дополнительная погрешности нормируются отдельно. Максимальная основная погрешность измерительного прибора, при которой он допускается к применению, называется пределом допускаемой основной погрешности. Способы выражения предела допускаемой основной погрешности для измерительного прибора установлены ГОСТ 8.401—80 «Классы точности средств измерений. Общие требования».

Рассмотрим формы аналитического выражения и способы нормирования пределов допускаемых основной и дополнительной погрешностей средств измерений. Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности, выраженные в единицах измеряемой величины или условно в делениях шкалы СИ, устанавливаются по одной из следующих двух формул на основании выражений (3.17) или (3.19):

$$\Delta = \pm a \quad (3.24)$$

$$\Delta = \pm (a + b x). \quad (3.25)$$

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливаются как:

$$\delta = \pm 100 \Delta / x = \pm q, \quad (3.26)$$

если  $\Delta = \pm a$ .

Здесь  $q$  — отвлеченное положительное число.

Пределы допускаемой приведенной основной погрешности устанавливаются по формуле:

$$\gamma = 100 \Delta / X_N = \pm \rho, \quad (3.27)$$

где  $\rho$  — отвлеченное положительное число;

$X_N$  — нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и абсолютная погрешность  $\Delta$ .

Отвлеченные положительные числа  $q$ ,  $\rho$ ,  $c$  и  $d$  выбираются из ряда предпочтительных чисел:

$$1 \cdot 10^n, 1.5 \cdot 10^n, 2 \cdot 10^n, 2.5 \cdot 10^n, 4 \cdot 10^n, 5 \cdot 10^n, 6 \cdot 10^n, \quad (3.28)$$

где  $n = 1, 0, -1, -2$  и т.д.

Для средств измерений с равномерной, практически равномерной или степенной шкалой значение  $X_N$  принимают следующим:

- большему из пределов измерений или равным большему из модулей пределов измерений, если нулевое значение (нулевая метка) находится на краю или вне диапазона измерений;

- сумме модулей пределов измерений, если нулевое значение внутри диапазона измерения.

Представленные формы записи пределов допускаемой основной погрешности используются для установления класса точности СИ, которые имеют различные обозначения.

Необходимо отметить, что в ГОСТе 8.401—80 «Классы точности средств измерений. Общие требования» дается следующее определение класса точности: «Класс точности средства измерения — обобщенная характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды средств измерений». Есть в данном документе и такое примечание: «Класс точности средств измерений характеризует их свойства в отношении точности, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполненных с помощью этих средств» (ГСОЕИ. Метрология. Термины и определения. - М.: Изд-во стандартов, 1991). Классы точности измерительных приборов обозначают числами  $s$  и  $d$  (в процентах), разделяя их косой чертой (например, 0,05/0,02).

При нормировании допускаемой абсолютной основной погрешности классы точности обозначают прописными буквами латинского алфавита или римскими цифрами. При этом более высоким классам точности соответствуют начальные буквы алфавита или меньшие числа.

Указание только абсолютной погрешности не позволяет сравнивать между собой по точности СИ с разным пределом измерений, а указание относительной погрешности также ограничено. Поэтому получило большое распространение нормирование приведенной погрешности как отношение  $D$  к нормируемому значению  $x_N$  (в, %):

$$y = \pm 100 \% / x$$

Нормирующее значение  $x_N$  выбирают в зависимости от вида и характера шкалы прибора. Различают равномерные (рисунок 3.11, а, б, в, г) и неравномерные шкалы. Последние делятся на существенно неравномерные и степенные.

Под существенно неравномерной шкалой понимают шкалу с сужающимися делениями, на которой отметка, соответствующая полусумме начального и конечного значения рабочей части шкалы, расположена между 65 и 100 % длины этой рабочей части (рисунок 3.11, д).

Под степенной шкалой понимают шкалу с расширяющимися или сужающимися делениями, но не попадающими под определение существенно неравномерных (рисунок 3.11, е).

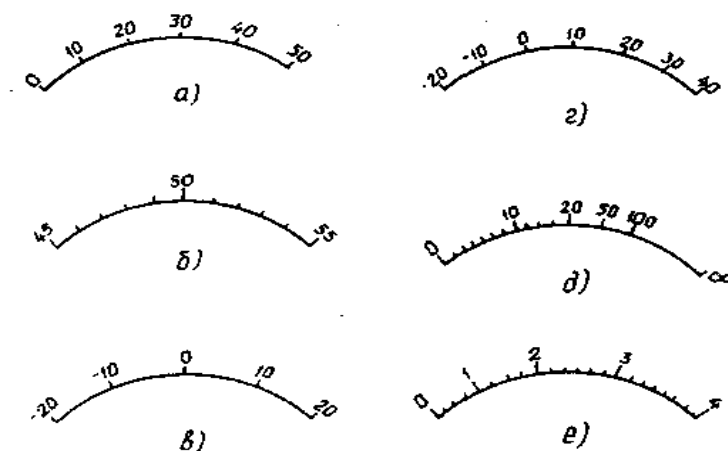


Рисунок 3.11 – Виды шкал СИ

Тогда нормирующее значение  $x_N$ , принимается равным:

- конечному значению рабочей части шкалы  $x_N = x_r$ , если нулевая отметка находится на краю или вне рабочей части шкалы (равномерная шкала рисунок 3.11, а –  $x_N = 50$ ; рисунок 3.11, б –  $x_N = 55$ ; степенная шкала –  $x_N = 4$  на рисунке 3.11, е);

- сумме конечных значений шкалы (без учета знака), если нулевая отметка – внутри шкалы (рисунок 3.11, в,  $x_N = 20+20=40$ ; рисунок 3.11, г,  $x_N = 20+40 = 60$ );

- длине шкалы, если она существенно не равномерна. В этом случае, поскольку, длина выражается в миллиметрах, то абсолютную погрешность надо выражать также в миллиметрах (рисунок 3.11, д);

- номинальному значению  $x$ , если СИ предназначено для измерения отклонения измеряемой величины от номинального значения.

Заканчивая описание инструментальных погрешностей, отметим особенности точности цифровых средств измерения, которые имеют определенные свойства. В частности, в цифровых измерительных приборах аддитивная погрешность определяется погрешностью квантования (погрешностью дискретности). При плавном изменении входной величины  $x$  (например, напряжения в диапазоне 0...5 мВ) цифровой вольтметр с пределом измерения 100 мВ не может дать других показаний, кроме дискретных значений 0-1-2-3-4-5 мВ. Поэтому при возрастании величины  $x$  от 0 до 0,5 мВ прибор будет показывать  $x = 0$ . При превышении значения 0,5 мВ цифровой вольтметр даст показания  $x = 1$  мВ и сохранит его до  $x = 1,5$  мВ и т.д.

## **4 Выбор методов и средств измерений на этапах проектирования и конструирования РЭА**

### **4.1 Способы нормирования контролируемых параметров**

#### **4.1.1 Задание контролируемого параметра**

Каждый контролируемый параметр должен быть задан одним из следующих видов:

4.1.1.1 Номинальное значение и предельные отклонения.

Например:  $(22 \pm 10)$  В;  $(27 \pm \frac{1}{3})$  В;  $50^{-2}$  мкс.

4.1.1.2 Верхние и нижние предельные значения без указания номинального значения.

Например: от 210 В до 230 В, от 24 В до 28 В, от 48 мкс до 50 мкс.

4.1.1.3 Одно из предельных значений без указания номинального значения.

Например: не более 5 А, не менее 3 МОм.

Для допусков вида «не более» и «не менее» рекомендуется выбирать СИ, исходя из важности параметра, условий производства и эксплуатации изделия, а влияние погрешности СИ учитывать путем установления в технической документации допуска, соответственно уменьшенного или увеличенного на величину погрешности СИ в данных условиях. Рекомендации по выбору СИ смотри в Приложении А.

В качестве основного способа нормирования параметров рекомендуется способ, указанный в п. 4.1.1.1.

#### **4.1.2 Способы выражения предельного отклонения параметра**

Предельные отклонения параметра должны выражаться одним из следующих способов:

4.1.2.1 В единицах измеряемой величины.

Например:  $(220 \pm 10)$  Вольт;  $(50 \pm 1)$  мс.

4.1.2.2 В относительных единицах: в децибелах, в процентах, в относительных единицах.

Например: не более 0.5 Дб;  $(40 \pm 1)$  Дб;  $\pm 0.05$  %;  $10^{-5}$ .

Рекомендуется в качестве основного способа выражения предельных отклонений указывать их в единицах измеряемой величины.

### 4.1.3 Дополнительные характеристики контролируемого параметра

Для каждого контролируемого параметра кроме характеристик, указанных в п.3.1.1, целесообразно задавать дополнительно следующие характеристики:

- СКО параметра  $\sigma_T$ ;
- закон распределения параметра;
- вероятность ложного и необнаруженного отказов ( $P_{\text{ло}} * P_{\text{но}}$ );
- допустимое предельное значения выхода за допуск –  $\delta_T$ ;

### 4.1.4 Задание СКО и Закона распределения

СКО и Закон распределения параметра должны задаваться разработчиком на основании экспериментальных, полученных в процессе выполнения НИР или по результатам сбора и обработке статистических данных по контролю аналогичных параметров ранее выпускаемых изделий и проверяется по результатам первого года производства.

В случае невозможности или экономической нецелесообразности получения данных о СКО и законе распределения параметров допускается пользоваться типовыми сведениями о законах распределения .

### 4.1.5 Выбор центра закона распределения

В случае если известны законы распределения, необходимо указывать центр закона распределения относительно номинального значения. Например: центр закона распределения совпадает с номинальным значением, тогда  $\alpha=0$ , не совпадает –  $\alpha \neq 0$ . Когда расположение закона распределения неизвестно, условно принимается, что центр закона распределения совпадает с номинальным значением контролируемого параметра.

### 4.1.6 Выбор $\sigma_T$

Если нет сведений о СКО параметра –  $\sigma_T$  , полученных в соответствии с п.4.1.4 настоящего стандарта, допускается условно принимать:

4.1.6.1 Для симметричного поля допуска нормального закона распределения:

$$\sigma_T = \delta / 6 = \delta_B / 3 = \delta_H / 3. \quad (4.1)$$



4.1.6.2 Для несимметричного поля допуска нормального закона распределения:

$$\begin{aligned} \sigma_T &= \delta_B / 3, \text{ когда } |\delta_B| > |\delta_H| \\ \sigma_T &= \delta_H / 3, \text{ когда } |\delta_B| < |\delta_H|. \end{aligned} \quad (4.2)$$

4.1.6.3 Для равновероятного закона распределения:

$$\sigma_m = \frac{\delta}{2\sqrt{3}} = \frac{\delta_B}{\sqrt{3}} = \frac{\delta_H}{\sqrt{3}}. \quad (4.3)$$

4.1.6.4 Для арккосинусного закона распределения:

$$\sigma_m = \frac{\delta}{2\sqrt{2}} = \frac{\delta_B}{\sqrt{2}} = \frac{\delta_H}{\sqrt{2}}. \quad (4.4)$$

4.1.6.5 В случае нормирования параметра способом, указанным в п.4.1.1.2:

$$\sigma_m = \frac{\delta}{6}; \quad A_0 = \frac{A_B - A_H}{2}; \quad \delta_B = \delta_H. \quad (4.5)$$

4.1.6.6 Для одностороннего допуска:

$$\sigma_m = \frac{\delta}{6}; \quad A_0^m = \frac{A_B - A_0}{2} \quad \text{или} \quad A_0^m = \frac{A_H - A_0}{2}; \quad \delta_B = \delta_H = \frac{\delta}{3}. \quad (4.6)$$

4.1.6.7 В случае нормирования параметра способом, указанным в п.4.1.1.3, значение  $\sigma_m$  не определять. В методике измерений вводить технологическое значение параметра, согласно рекомендациям, изложенным в разделе 4.2.

4.1.6.8 При выборе СИ графоаналитическим методом, изложенным ниже, соотношение между допуском и СКО параметра  $\left| \frac{\delta}{\sigma_m} \right|$  определять с учетом рекомендаций, изложенных в пп.4.1.6.1 – 4.1.6.7 и Приложения Б (справочного).

## 4.2 Определение нормируемой погрешности измерений

### 4.2.1 Определение допустимого значения погрешности измерения

Допустимое значение погрешности измерений (нормируемая погрешность измерений) должно определяться из выражения:

$$\Delta_H = \frac{X_{yc}}{K_m}. \quad (4.7)$$

#### 4.2.2 Определение значения $X_{yc}$

Значения  $X_{yc}$  определяется в зависимости от вида нормирования параметра:

4.2.2.1 Если нормируемый параметр задан в виде номинального значения и симметричного поля допуска, то:

$$X_{yc} = \delta_B = \delta_H = \delta/2. \quad (4.8)$$

4.2.2.2 Если нормируемый параметр задан в виде двух предельных значений  $A_B - A_H$ , то:

$$X_{yc} = \frac{A_B - A_H}{2}; \quad \delta_B = \delta_H. \quad (4.9)$$

4.2.2.3 Если нормируемый параметр задан в виде номинального значения и несимметричного поля допуска, то необходимо определить два значения  $X_{yc}$ :

$$X_{yc}^B = \delta_B; \quad X_{yc}^H = \delta_H. \quad (4.10)$$

4.2.2.4 Если нормируемый параметр задан в виде номинального значения и одностороннего допуска, то необходимо в методике измерения вводить технологическое значение измеряемого параметра  $A_T$ , которое должно быть выбрано из условия:

$$A_m = A_0 + \frac{\delta_B}{2} \quad \text{или} \quad A_m = A_0 - \frac{\delta_H}{2}.$$

Тогда можно принять:

$$X_{yc} = \frac{\delta_B}{2} \quad \text{или} \quad X_{yc} = \frac{\delta_H}{2}. \quad (4.11)$$

4.2.2.5 Если нормируемый параметр задан в виде предельного значения (не более, не менее), то значение  $X_{yc}$  не определяется.

Не вычисляется значение  $\Delta_H$ , а в методике измерений контролируемый параметр должен быть уменьшен или увеличен на величину погрешности (увеличен – для случая «не менее», уменьшен – для случая – «не более»).

Допускается контролируемый параметр уменьшать или увеличивать в соответствии с рекомендациями, указанными в п.4.2.3.8.

### 4.2.3 Выбор значения $K_T$

Значение  $K_T$  должно быть выбрано в зависимости от заданных значений  $P_{ло}$  и  $P_{но}$  качества технологического процесса.

4.2.3.1 Если известны законы распределения параметра, погрешности СИ и значения  $\sigma_m$ ,  $\sigma(\Delta)$ , то значение  $K_T$  можно определить по графикам, приведенным в Приложении В (справочном).

Предварительно нужно рассчитать значения  $S_e = \frac{\delta_e}{\sigma_m}$  и  $S_n = \frac{\delta_n}{\sigma_m}$ .

4.2.3.2 Значение  $K_T$  для случаев, указанных в п. 4.2.2.1 и п. 4.2.2.4 определяется в следующем порядке:

- а) вычислить значение  $S = S_v = S_n$ ;
- б) используя значение  $S$ ,  $P_{но}$  и  $P_{ло}$  по графикам, приведенным в Приложении В, определить  $R$ ;
- в) вычислить  $K_T = 1/R$ ;
- г) если, исходя из требований обеспечения заданных значений  $P_{но}$  и  $P_{ло}$ , величины  $K_T$  получились разные, то необходимо выбрать большую из них.

4.2.3.3 Для случая, указанного в п.4.2.2.3 (несимметричное поле допуска), значение  $K_T$  рекомендуется выбрать следующим способом.

Исходя из значений  $S_v$  и  $S_n$  меняя значение  $R$ , найти по графикам такое его значение  $R$ , чтобы выполнялось условие:

$$\frac{P_e}{2} + \frac{P_n}{2} \leq P_{нс.доп}. \quad (4.6)$$

4.2.3.4 Если неизвестны законы распределения параметра и погрешности СИ, но известны допустимые значения  $P_{ло}$  и  $P_{но}$ , рекомендуется значение  $K_T$  выбирать из условия, что закон распределения параметра – нормальный, погрешности СИ – равновероятный.

4.2.3.5 Если известны данные, приведенные в п.4.2.3.1., но не заданы значения  $P_{но}$  и  $P_{ло}$ , то допускается принять  $P_{но} = 0,0027$  (0,27 %). Методы оценки  $P_{ло}$  и  $P_{но}$  даны в Приложении Г (справочное).

4.2.3.6 При отсутствии нормированных значений  $P_{но}$ ,  $P_{ло}$  и сведений о законах распределения параметров и погрешности средств измерений, следует значение  $K_T$  принимать не менее 3-х.

4.2.3.7 В случае отсутствия возможности 3-х кратного запаса по точности вопрос о его снижении должен быть решен главным метрологом и главным конструктором. При этом должны быть определены значения  $P_{\text{ло}}$ ,  $P_{\text{но}}$  и  $\delta_n$  и по ним сделаны выводы о возможности снижения коэффициента точности.\*

4.2.3.8 Если снижение коэффициента точности для случая, указанного в п. 4.3.7. приводит к увеличению значений  $P_{\text{ло}}$ ,  $P_{\text{но}}$  и  $\delta_n$  до допустимых значений, то необходимо вводить технологический допуск.

4.2.3.9 Технологический допуск рекомендуется назначать исходя из следующих соображений:

- при ответственных измерениях, если «ложный брак» приводит к незначительным потерям или может быть исправлен в процессе контроля, следует допуск уменьшить на погрешность метода измерения со стороны как верхнего, так и нижнего отклонения;

- если «ложный брак» приводит к недопустимым экономическим потерям и не может быть исправлен по результатам контроля, то целесообразно допуск уменьшить на половину погрешности метода измерения с обеих сторон;

- в общем при выборе технологического допуска можно:

- а) сужать поле допускаемого отклонения на полую погрешность метода измерений, если размер задан предельным значением «от ... до» в виде слов «не более», «не менее» (при применении метода, погрешность которого превышает 1/3 допускаемого отклонения на контролируемый параметр);

- б) сужать поле допускаемого отклонения контролируемого параметра на 20 % при  $K_T = 3,3 \dots 5$ , на 10 % при  $K_T > 5$  в соответствии с рекомендациями МИ 188-86.

### **4.3 Методы расчета суммарной погрешности средств измерений и методов измерений**

Характеристики погрешности СИ и значения параметров изделия классифицируют по их свойствам. В этом отношении различают систематические случайные погрешности СИ, систематические и случайные значения параметров изделия.

Систематические погрешности СИ – это составляющие погрешности СИ. По характеру проявления систематические погрешности подразделяют на постоянные и переменные.

---

\* При настройке узлов устройств и прочих схем допускается снижение значения  $K_T$  до 2 ( $K_T = 2$ ) без согласования с главным метрологом, если обеспечивается установка параметра в номинальное значение.

Переменные погрешности в свою очередь делят на прогрессивные, периодические и изменяющиеся по сложному закону.

Постоянные систематические погрешности характеризуются тем, что в течение всего времени измерений их значение и знак остаются неизменными.

Прогрессивными называют погрешности, которые в процессе измерений постоянно убывают или возрастают.

Периодическими называют погрешности, периодически изменяющие значение и знак.

Погрешности, изменяющиеся по сложному закону, могут быть выражены в виде кривой или в виде формулы.

Случайные погрешности СИ – это составляющие погрешности СИ, изменяющиеся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. Не всегда случайные погрешности распределены по нормальному закону. В общем случае законы распределения могут быть самыми разными.

Однако с достаточной для практических целей точностью большинство реальных функций распределения может быть аппроксимировано ограниченным числом функций, вид и основные характеристики которых приведены в таблице 4.1. Все эти распределения являются симметричными и усеченными, и их можно охарактеризовать одним параметром – СКО ( $\sigma_m$ ).

Предельное значение погрешности получают, умножая  $\sigma_m$  на множитель  $g$ , значения которого для различных функций представлены в таблице 4.1.

Вид функции выбирают на основании физических предпосылок, имеющих опытных данных и т.п. Результаты измерений в значительной мере сконцентрированы вокруг истинного значения измеряемой величины, и по мере приближения к нему элементы вероятности их появления возрастают. Характеристикой центра группирования случайной величины результата измерений – является математическое ожидание, определяемое по формуле:

$$M[A] = \int_{-\infty}^{\infty} xf(x)d(x). \quad (4.7)$$

В этом случае систематической погрешностью является отклонение математического ожидания результатов измерений от истинного значения измеряемой величины

$$\Delta_c = M[A] - X_0, \quad (4.8)$$

а случайной погрешностью – разность между результатами единичного измерения и математическим ожиданием результатов:

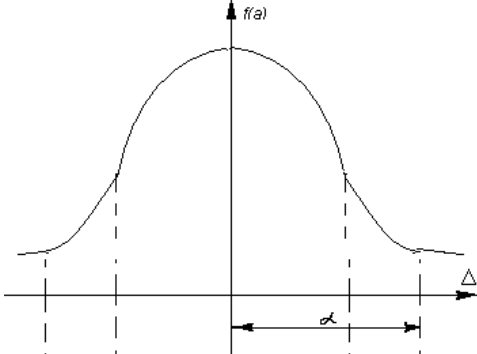
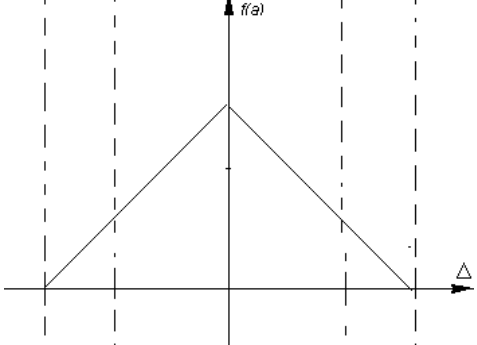
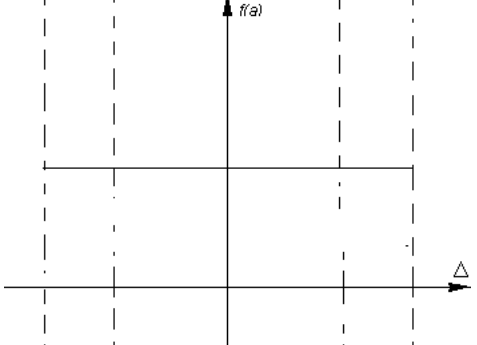
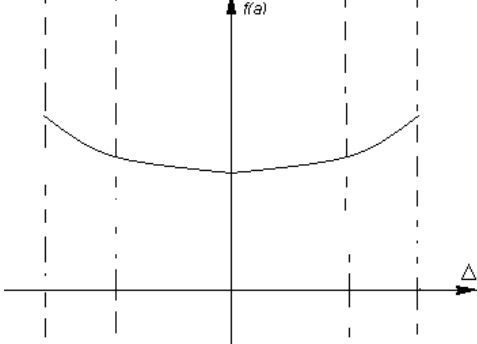
$$\Delta^0 = A - M[A]. \quad (4.9)$$

При этом истинное значение измеряемой величины будет равно:

$$x_0 = A - \Delta_c - \overset{0}{\Delta}.$$

(4.10)

Таблица 4.1

Наименование функции, ее обозначение	Вид	$C = g = \frac{\alpha}{\sigma_n}$
Нормальная (усеченная норм.)		3
Треугольная (Симпсона) Δ		2,4
Равномерная (равн.)		1,7
Аркосинусная (арк.)		1,4

Математическое ожидание погрешности измерения  $M[\Delta] = \Delta_c$  обусловлено влиянием на него факторов, воздействующих вполне определенным образом. Причины этих воздействий могут быть установлены и в большинстве случаев устранены, например введением поправок при измерении или регулировке аппаратуры.

Для оценки свойств законов распределения и полной характеристики распределения результата измерения  $A$  или погрешности измерений  $\Delta$  применяют числовые характеристики, называемые моментами. Различают начальные моменты, найденные без исключения систематической составляющей и центральные моменты. Часто применяется центральный момент второго порядка, который получил название дисперсии. Дисперсия характеризует рассеивание случайной величины относительно ее математического ожидания. В практических задачах рассеивание чаще характеризуют средним квадратическим отклонением  $\sigma_n = \pm \sqrt{D}$ , так как оно имеет ту же размерность, что и случайная величина.

Дисперсия распределения результатов измерения:

$$D(A) = M[A - M(A)]^2. \quad (4.11)$$

Дисперсия распределения случайных погрешностей измерения:

$$D(\Delta) = D(A) = M[A - M(A)]^2. \quad (4.12)$$

Дисперсия распределения результатов и случайных погрешностей измерения имеют значения, равные квадрату измеряемой величины.

#### 4.3.1 Определение предела погрешности СИ при нормированных основной и дополнительной погрешностях

В случае, когда основная  $\Delta_{\text{осн}}$  и дополнительная  $\Delta_{\xi}$  погрешности СИ нормированы в виде пределов допускаемых их значений, то в предположении, что суммарные погрешности независимы и имеют одинаковые законы распределения, предел погрешности СИ определяется выражением:

$$\Delta_{\sigma} = \sqrt{\Delta_{\text{осн}}^2 + \sum_{i=1}^r \Delta_{\xi i}^2}. \quad (4.13)$$

Пример: Определить предельное значение погрешности установки частоты 20 кГц генератора ГЗ-56/1. Согласно описанию на прибор, основная погрешность установки частоты не превышает 200 Гц, изменение частоты за 1 час работы не превышает 50 Гц, изменение частоты при отклонении сети питания на  $\pm 10\%$  не превышает 60 Гц. Влияющие факторы независимы, закон распределения погрешности – нормальный.

$$\text{Тогда } \Delta_{\sigma} = \sqrt{200^2 + 50^2 + 60^2} = 215 \text{ Гц.}$$

### 4.3.2 Определение предела погрешности СИ при отклонении закона распределения погрешностей от нормальных

Для тех же условий, что и в п. 4.3.1., но когда законы распределения погрешностей отличаются от нормальных, предел погрешности СИ следует определить из выражения:

$$\Delta_{\sigma} = \sqrt{\left| \frac{\Delta_{\text{осн}}}{C_0} \right|^2 + \sum_{i=1}^r \frac{\Delta_{\xi_i}^2}{C_i^2}}. \quad (4.14)$$

Коэффициенты  $C$ ,  $C_0$ ,  $C_i$  выбираются из таблицы 4.1 стандартных аппроксимаций законов распределения.

Пример: Определить погрешность измерений выходного напряжения  $U_{\text{вых}} = 5$  В прибором для автоматической разбраковки интегральных схем. Согласно паспорту:

- $\Delta_{\text{осн}} = \pm 5\%$ , закон распределения – равномерный;
- погрешность измерения из-за изменения сети на  $\pm 10\%$  не превышает  $2\%$ ;
- погрешность из-за изменения температуры на  $10^\circ\text{C}$  не превышает  $0,3\%$ , закон распределения – нормальный.

Выбираем из таблицы  $C = C_0 = 1,7$ ;  $C_1 = C_2 = 3$ .

Тогда:

$$\Delta_{\sigma} = 1,7 \sqrt{\left( \frac{5 * 0,05}{1,7} \right)^2 + \left( \frac{5 * 0,02}{3} \right)^2 + \left( \frac{5 * 0,003}{3} \right)^2} = 0,26 \text{ В.}$$

### 4.3.3 Условные типовые сведения о законах распределения погрешностей средств измерений

Законы распределения погрешности средств измерений должны быть взяты из НТД на выбранные СИ.

Если такие сведения отсутствуют, то условно можно принять следующие типовые сведения о законах распределения погрешностей:

4.3.3.1. Нормальный закон распределения имеет место в случае различных флуктуационных погрешностей и в случае, когда суммарная погрешность складывается из большого числа (более 5) составляющих погрешностей с любым законом распределения при отсутствии доминирующей погрешности. Если известны оценки среднего значения и СКО, а характер распределения установить трудно, рекомендуется считать закон распределения случайной величины нормальным. Закон распределения значений параметра изделия обычно можно считать нормальным со средним значением  $A_0$  и  $\text{СКО} = \sigma_m$ . Если значение погрешности СИ распределено по нормальному закону, то суммарная погрешность считается равной трем средним квадратическим погрешностям, то есть:



$$\Delta_{\sigma} = 3\sigma(\Delta). \quad (4.15)$$

4.3.3.2. Закон равной вероятности распределения справедлив для случайных величин, значения которых по своей природе равновероятны в некоторых пределах или для случайных величин, значения которых определяются факторами, изменяющимися с постоянной скоростью в течение времени измерения. Закон равной вероятности рекомендуется применять и в тех случаях, когда из технической документации на СИ можно определить  $\Delta_m$ , а значение  $\sigma(\Delta)$  неизвестно. Если погрешность СИ распределена по закону равной вероятности, то:

$$\Delta_{\sigma} = \sqrt{3}\sigma(\Delta). \quad (4.16)$$

4.3.3.3 Аппроксимацию арккосинусным законам распределения следует выбирать, когда разброс значения какого-либо сигнала, появляется в результате сложения двух когерентных гармонических сигналов со случайной равномерно распределенной фазой. Наиболее часто встречается в СВЧ технике из-за влияния неидеальности трактов.

Например, неопределенность значения мощности сигнала из-за взаимных отражений между генератором и нагрузкой, неточность калибровки аттенюатора в несогласованном тракте и т.д.

Близким к арккосинусному является распределение значений параметра, когда параметр «вгоняется» в область допустимых значений путем регулировки с использованием пороговых устройств, указывающих, находится ли параметр в области допустимых значений.

#### 4.3.4 Определение предела допускаемой погрешности СИ с одинаковыми законами распределения суммируемых составляющих погрешности

Если пределы основной и дополнительных погрешностей СИ нормированы в соответствии с ГОСТ 8.009-84 в виде  $\Delta_{\sigma}$  допустимого значения, математического ожидания  $M[\Delta]$  и среднеквадратического отклонения  $\sigma(\Delta)$  погрешности СИ данного типа, то предполагая, что суммируемые погрешности неизвестны и имеют одинаковый закон распределения, предел допускаемой погрешности СИ должен определяться из выражения:

$$\Delta_{\sigma} = \Delta_{\text{осн}} + \sum_{i=1}^r \bar{\Delta}_{\xi} \pm C(p) \sqrt{D_{\text{осн}}^2 + \sum_{i=1}^r D_i^2}, \quad (4.17)$$

где  $C(p)$  – коэффициент, значение которого при заданной вероятности  $P$  зависит от вида закона распределения.

При  $P = 0,007$   $C(p) = 3$  для нормального закона распределения;

$C(p) = 1,73$  – для равномерного закона распределения.

При  $P = 0,95$   $C(p) = 2$  – для нормального закона распределения.

#### 4.3.5 Определение предела допускаемой погрешности СИ с различными законами распределения суммируемых составляющих погрешности

Для случая, указанного в п. 4.3.4., но когда суммируемые составляющие погрешности имеют различные законы распределения или даже разные доверительные вероятности, предел допускаемой погрешности измерения определяется выражением:

$$\Delta_{\sigma} = \Delta_{осн} + \sum_{i=1}^r \Delta_{\xi} \pm \sqrt{C_{осн}^2(p) * D_{осн}^2 + \sum_{i=1}^r C_i^2(p) * D_i^2}, \quad (4.18)$$

где  $C_{осн}(p)$  и  $C_i(p)$  определяются из соотношений, изложенных в пп.4.3.2, 4.3.4.

#### 4.3.6 Определение погрешности в случае косвенных измерений

Для случая, когда погрешности всех СИ пронормированны пределом их допускаемых значений и имеют одинаковый закон распределения:

$$\Delta_{\sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^r \left( \frac{\partial F}{\partial x_i} \Delta_{ig} \right)^2}, \quad (4.19)$$

где  $\Delta_{ig}$  – суммарная погрешность СИ, вычисленная согласно пп. 4.3.1 – 4.3.5.

При более сложных случаях нормирования погрешности, разных законах распределения следует использовать специальные способы вычисления, которые требуют систематической подготовки и изложены в литературе.

#### Выводы

Погрешности метода измерений должны вычисляться по методике, изложенной в пп. 5.1 ... 5.6, учитывая погрешности СИ, отсчета, интерполяции, профессионального навыка, инструментальные и т.д.

Приложение 5 (справочное) знакомит с некоторыми наиболее важными терминами и определениями, употребляемыми в стандарте.

## **5 Общие правила выбора метода и средств измерений**

**5.1** Выбор метода измерений предопределяется:

- свойствами измеряемой физической величины;
- требуемой точностью результатов измерений;
- условиями измерений;
- возможностью обеспечения требуемыми СИ;
- способами использования измерительной информации по непосредственному назначению;
- допустимой трудоемкостью процесса измерений.

**5.2** С целью уменьшения трудоемкости процессов измерений следует выбирать метод непосредственной оценки, если он обеспечивает требуемую точность измерений.

**5.3** При методе непосредственной оценки предпочтение следует отдавать СИ с цифровой индикацией, если это экономически целесообразно.

**5.4** В случае, если метод непосредственной оценки не обеспечивает требуемой точности, необходимо выбирать метод сравнения с мерой, отдавая предпочтение нулевому методу или дифференциальному.

**5.5** В случае, если измеряемая величина не поддается прямому измерению, следует применять косвенные измерения, выбирая для получения промежуточных результатов измерений методы, указанные в пп. 5.2 ... 5.4.

**5.6** При выборе метода следует учитывать номенклатуру СИ, имеющих на предприятии, или отсутствующих на предприятии, но выпускаемых промышленностью.

Применение методов измерений, которые требуют НСИ, следует обосновать. Предпочтение следует отдавать методам, для которых требуются стандартные СИ, имеющиеся в номенклатурах выпускаемых промышленностью приборов и когда их выпуск перспективен.

**5.7** При наличии стандартизированных или аттестованных методик выполнения измерений необходимо выбирать методы, изложенные в этих МВИ.

**5.8** Выбор СИ в значительной степени предопределяется выбором метода измерений, но поскольку один и тот же метод измерения может быть

реализован с помощью различных СИ, то необходимо учитывать наличие и возможность приобретения СИ, их общетехнические, метрологические и эксплуатационные свойства.

**5.9** При выборе СИ следует руководствоваться следующими основными правилами:

5.9.1 Чем больше масштаб производства, тем больше должен быть уровень автоматизации СИ. Уровень автоматизации рекомендуется определять исходя из положений, изложенных в ОСТ 410.052.036 «Узлы и блоки РЭА на микросхемах. Методы определения уровня оснащенности операций контроля электрических параметров».

5.9.2 Для выполнения измерений в условиях воздействия влияющих факторов следует выбирать СИ, некритичные к этим воздействиям, а не те, которые обеспечивают высокую точность измерения только в нормальных условиях.

5.9.3 При выборе автоматизированных СИ необходимо учитывать не только статические, но и динамические погрешности, поскольку даже при измерении параметров с постоянными размерами их режим работы имеет динамический характер.

5.9.4 Следует отдавать предпочтение СИ, МХ которых нормированы по ГОСТ 8.009-84 для рабочих условий, т.к. в этом случае отпадает необходимость учета дополнительных погрешностей.

5.9.5 Выбор СИ должен быть осуществлен так, чтобы по форме информации (аналоговая, цифровая) результаты измерений соответствовали их непосредственному назначению.

5.9.6 Для измерений с многократными наблюдениями следует выбирать СИ, у которых цена деления должна быть меньше, чем СКО случайной погрешности измерений.

5.9.7 СИ следует выбирать таким образом, чтобы они не оказывали или оказывали минимальное влияние на параметр объекта исследования и на результаты измерений. Некоторые типовые рекомендации по выбору СИ для наиболее часто встречающихся случаев приведены в Приложении А.

**5.10** Если метрологические характеристики СИ пронормированы для нормальных условий, то при выборе следует определить их погрешность в рабочих условиях с учетом влияния каждого фактора.

**5.11** Суммарная погрешность метода измерения не должна превышать допустимых значений, рассчитанных по методике, приведенной в разделе 4.3.

**5.12** Методы расчета суммарной погрешности средств измерений и метода измерений приведены в разделе 5 настоящего стандарта.

**5.13** В общем случае рекомендуется следующий порядок выбора метода и средств измерений:

5.13.1 Установить значения измеряемого параметра и пределов допускаемых отклонений в соответствии с указаниями раздела 4.1 настоящего стандарта.

5.13.2 Определить нормируемую погрешность измерений каждого параметра в соответствии с указаниями раздела 4 настоящего стандарта.

5.13.3 Выбрать метод измерения с учетом рекомендаций, изложенных в пп.5.1 – 5.13 настоящего стандарта.

5.13.4 Определить номенклатуру и значения параметров, влияющих на погрешность метода измерений.

5.13.5 Определить состав необходимых СИ и требования к их характеристикам.

5.13.6 Выбрать предварительно СИ. Подробнее в Приложениях А и Б (справочные).

5.13.7 Для каждого из СИ, используемых при выбранном методе, определить номенклатуру основных и дополнительных характеристик параметров, влияющих на погрешность измерения.

5.13.8 Установить и обеспечить требования к условиям выполнения измерений.

5.13.9 Определить номенклатурную погрешность измерения по методике, изложенной в разделе 4.3.

5.13.10 Сравнить значения полученной в п. 5.13.9 погрешности измерения с нормируемой погрешностью измерения, рассчитанной в п. 5.13.2.

5.13.11 В случае, если суммарная погрешность измерения превышает нормируемое значение, необходимо выбрать другие СИ, если это экономически целесообразно, или принять меры по уменьшению погрешности измерений путем изменения условий выполнения измерений или других факторов, влияющих на погрешность измерения.

5.13.12 В случае, если суммарная погрешность измерения не превышает нормируемого значения, выбрать рассматриваемые СИ.

5.13.13 В случае, когда технически невозможно или экономически нецелесообразно получить погрешность меньше или равной нормируемой погрешности, рекомендуется пересмотреть нормируемое значение погрешности исходя из анализа и возможности изменения допустимых значений  $P_{\text{до}}$  и  $P_{\text{но}}$  и  $\delta_n$  или  $K_T$ .

5.13.14 Установить норму записи результатов измерений.

## **6 Формы представления результатов измерений**

### **6.1 Показатели точности согласно МИ 1317-86**

Результаты измерений должны представляться в виде значения величины и показателей точности. Показатели точности установлены МИ 1317-86. Согласно МИ 1317-86 показателями точности являются:

- интервалы, в которых погрешность измерения находится с заданной вероятностью;
- оценки СКО систематической и случайной составляющих погрешности измерения;
- плотность вероятности систематической и случайной составляющих погрешности измерения.

### **6.2 Выражение точности измерения**

Точность измерения должна выражаться одним из следующих способов:

- интервалом от  $\Delta_n$  до  $\Delta_v$ , в котором с установленной вероятностью  $P$  находится суммарная погрешность измерений;
- интервалом от  $\Delta_n$  до  $\Delta_v$ , в котором с установленной вероятностью  $P_0$  находится систематическая составляющая погрешности измерений, стандартной аппроксимацией функции плотности вероятности и оценкой СКО случайной составляющей.

*Примечание:* Остальные способы выражения точности измерений в данном стандарте не приводятся. В случае необходимости можно обратиться к МИ 1317-86 или иной литературе.

### **6.3 Правила для выражения численных показателей точности**

Для выражения численных показателей точности следует соблюдать следующие правила:

- численные показатели точности выражаются в единицах измеряемой величины;
- численные показатели должны содержать не более 2-х значащих цифр;
- наименьшие разряды результата измерений и численных показателей должны быть одинаковыми.

#### **6.4 Форма представления результатов измерений при выполнении прямых единичных измерений**

При выполнении прямых единичных измерений, результаты которых используются для сопоставления с другими результатами измерений, рекомендуется использовать первую форму представления результатов измерений, установленную МИ 1317-86, то есть:

- $X$  – результат измерений;
- $\Delta$ ,  $\Delta_n$  и  $\Delta_v$  – соответственно погрешность измерения с нижней и верхней ее границами;
- $P$  – вероятность, с которой погрешность находится в интервале от  $\Delta_n$  до  $\Delta_v$

При этой форме представления результатов измерения погрешность не подразделяется на случайную и систематическую составляющие.

#### **6.5 Форма представления результатов измерений при косвенных измерениях**

В случае косвенных измерений наиболее целесообразна форма представления результатов измерений в виде:

- $X$  – результаты измерений;
- $\sigma(\Delta)$  и  $\sigma(\Delta_c)$  – оценки СКО случайной и систематической составляющих;
- $P_{ст\sigma}(\Delta)$  и  $P_{ст\sigma}(\Delta_c)$  – стандартных аппроксимаций плотности вероятности случайной и систематической составляющей.

## **7 Законодательная метрология**

Важной особенностью метрологии является ее законодательный характер благодаря действию в нашей стране комплекса государственных стандартов, объединенных в Государственную систему обеспечения единства измерений (ГСОЕИ, упрощенное — ГСИ). Раздел метрологии, включающий комплексы взаимосвязанных общих правил, требований и норм, а также вопросы регламентации и государственного контроля, направленные на обеспечение единства измерений и единообразия средств измерений, называется законодательной метрологией. Это, в свою очередь, предписывает соответствующий надзор за средствами измерений, который осуществляется деятельностью органов метрологической службы, обеспечивающей единообразие средств измерений. В метрологии, как и в любой другой науке, недопустимо произвольное толкование применяемых терминов. Поэтому один из основных стандартов РМТ 29-99 специально регламентирует терминологию в области метрологии.

### **7.1 Сертификация**

#### **7.1.1 Сущность и функции сертификации**

Слово «сертификация» в переводе с латинского (*sertifico*) – означает – подтверждаю, удостоверяю. Его можно толковать также исходя из сочетания латинских слов *certum* – верно и *facere* – сделано. Несмотря на то, что историки науки находят зачатки сертификации еще в глубокой древности (клеймение изделий изготовителем как подтверждение высокого качества работы мастера; процедура страхования много веков сопровождалась оценкой состояния страхуемого объекта, что удостоверялось документально, и т.д.), в качестве термина с четким определением слово «сертификация» принято недавно.



Впервые определение понятию «сертификация» было дано Международной организацией по стандартизации (ИСО) в 1982г. В соответствующем Руководстве ИСО/МЭК 2:1982 понятие сертификации сформулировано следующим образом: «Сертификация соответствия представляет собой действие, удостоверяющее посредством сертификата соответствия или знака соответствия, что изделие или услуга соответствует определенным стандартам или другому нормативно-техническому документу».

В дальнейшем формулировка понятия сертификации постепенно уточнялась. В упомянутом Руководстве в редакции 1986г. термин «сертификация» дополнен примечаниями:

1. Сертификация является общим термином, подразумевающим участие третьей стороны в сертификации продукции, технологических процессов или услуг (сертификация соответствия);
2. Прогресс в области оценки систем качества вызывает необходимость нового понятия сертификации систем качества (сертификация возможностей поставщика).

Под «третьей стороной» в процедуре сертификации подразумевается независимая, компетентная организация, осуществляющая оценку качества продукции по отношению к участникам купли-продажи. Первой стороной принято считать изготовителя, продавца продукции, второй – покупателя, потребителя.

Приведенное определение понятия «сертификация соответствия» показывает, что, во-первых, сертификация соответствия непосредственно связывается с компетентной и независимой стороной, которая гарантирует это соответствие и удостоверяет его посредством сертификата или знака соответствия; во-вторых, сертификация соответствия признается только в тех случаях, когда она проводится в рамках организационной системы (системы сертификации) согласно установленным правилам; в-третьих, введено понятие «адекватной степени достоверности», что связано с невозможностью гарантировать абсолютное соответствие серийно или массово выпускаемой продукции требованиям стандартов даже при проведении сплошного контроля качества, - всегда есть вероятность несоответствия определенного пусть минимального количества продукции установленным требованиям.

На сегодняшний день согласно последней (1996г.) редакции Руководства ИСО/МЭК 2 понятие сертификации соответствия можно изложить в следующих словах:

Сертификация – это процедура подтверждения соответствия результата производственной деятельности, товара, услуги нормативным требованиям, посредством которой третья сторона документально удостоверяет, что продукция, работа (процесс) или услуга соответствует заданным требованиям.

Третья сторона (например, испытательная лаборатория) для подтверждения своей компетентности и объективности проходит процедуру аккредитации, т.е. официального признания ее возможностей осуществлять соответствующий вид контроля или испытаний.

Организационная система (система сертификации) является вторым по важности термином процедуры подтверждения соответствия. Этот термин в

последней редакции Руководства ИСО/МЭК 2 определяется как «система, имеющая свои собственные правила процедуры и руководства для проведения сертификации соответствия». Основным в этом определении является то, что сертификация в рамках системы должна проводиться по единым правилам. В примечании к этому определению указывается, что системы сертификации могут создаваться на трех уровнях: национальном, региональном и международном.

Из приведенных формулировок следует сделать вывод, что сертификация не связана с обеспечением того или иного уровня качества продукции или услуги, она лишь гарантирует потребителю тот факт, что продукция изготовлена, услуга выполнена в полном соответствии с требованиями стандартов или других нормативных документов на данную продукцию или услугу при однозначном толковании документов и объективных методах проверки.

### **7.1.2 Социально-экономические функции и эффективность сертификации**

Улучшение качества продукции и услуг, гарантия безопасности их для потребителя является объективной необходимостью

Производитель стремится улучшать качество продукции или услуги, поскольку это сулит ему расширение рынка сбыта, получение дополнительной прибыли.

Сертификация – основное средство в условиях рыночных (частнопредпринимательских), отношений, позволяющее гарантировать соответствие продукции требованиям нормативной документации. Российский опыт перехода на рыночные условия хозяйствования показал, что чисто либеральная экономическая концепция, когда отношения между производителем и потребителем, между продавцом и покупателем, по мнению сторонников этой концепции, устанавливаются самопроизвольно, оказалась несостоятельной. В действительности, в реальной «западной модели» рыночной экономики идет постоянно увеличение масштабов и форм государственного регулирования хозяйственной жизни. Государство зачастую выступает как сила, организующая и координирующая предпринимательскую деятельность, регулирующая отношения между продавцом и потребителем. Больше того, во все более значительных масштабах государство выходит на рынок как покупатель товаров и услуг. Областью социально-экономических отношений, в которой в последние десятилетия существенно усилилось государственное регулирование, является сфера обеспечения безопасности и качества продукции, технологических процессов, услуг.

Базой государственного регулирования безопасности товаров и услуг для потребителя и служит сертификация. Ее основной функцией является защита человека, его имущества и природной среды от отрицательных последствий современного научно-технического развития, от недобросовестных производителей и продавцов, создание условий для честной конкурентной борьбы. Составными частями системы регулирования безопасности и качества

товаров и услуг являются: система выдачи разрешений (лицензий) на право ведения предпринимательской деятельности, нормативы безопасности и качества, стандартизация, метрология, методы испытания изделий, процедура оценки и подтверждения соответствия изделия, технологии или услуги требованиям нормативных документов.

Сертификация может быть обязательной, осуществляемой в законодательно регулируемой области экономики, и добровольной, осуществляемой в нерегулируемой сфере хозяйствования. Обязательная сертификация применяется во всех развитых странах мира в качестве инструмента для защиты общества и граждан от товаров и услуг, способных нанести вред здоровью, имуществу и окружающей среде. Добровольная сертификация составляет неотъемлемую часть современных рыночных отношений, играя роль стимула повышения конкурентоспособности товаров и услуг.

Важной функцией сертификации является защита национального рынка от зарубежных недобросовестных конкурентов. Вместе с тем сертификация оказывает значительное влияние на расширение международного экономического сотрудничества. Сложившиеся в течение десятилетий различия в национальных стандартах и процедурах проведения сертификации превратились в так называемые технические барьеры для международной торговли. Эти различия либо являются результатом национальных традиций в организации производства и торговли, либо создаются специально в целях затруднения импорта товаров иностранных конкурентов.

Значительную роль в ликвидации технических барьеров в международной торговле играет ряд организаций, в том числе международные организации по стандартизации и сертификации. В частности, участники Всемирной Торговой Организации (ВТО), созданной на базе Генерального соглашения по тарифам и торговле (ГАТТ) осуществляют специальные меры по гармонизации национальных стандартов и по процедурам сертификации, чтобы исключить препятствия для международной торговли. Пункт 7.2 Соглашения по техническим барьерам в торговле гласит:

«Участники должны следить за тем, чтобы системы сертификации разрабатывались и применялись так, чтобы обеспечить поставщикам аналогичной продукции, производимой в других странах-участницах, доступ к данной системе на условиях, не менее благоприятных, чем существующие для поставщиков аналогичной продукции отечественного производства или производства какой-либо другой отрасли, включая установление способности и желания таких поставщиков выполнять требования системы. Доступ к системам также предусматривает получение знака системы, если таковой существует, на условиях, не менее благоприятных, чем установленные для системы».

Эффект от проведения сертификации продукции и услуг носит социально-экономический характер. В социальной сфере, как уже отмечалось, сертификация обеспечивает защиту здоровья и жизни населения, является важным элементом систем охраны окружающей среды.

В США и Западной Европе обеспечение безопасности потребителя стало важной задачей социальной политики, направленной на повышение качества жизни населения. В «Белой книге» Комиссии Е (1985г.), посвященной программным вопросам стратегии создания единого европейского рынка (1995г.), подчеркивалось, что гармонизация законодательства стран Европейского экономического союза (ЕЭС) должна быть нацелена на установление требований в отношении охраны здоровья и безопасности, защиты интересов потребителей и окружающей среды. В 1985г. Генеральная ассамблея ООН одобрила документа «Руководящие принципы защиты интересов потребителей». Все это стало в значительной мере результатом борьбы потребительских обществ за безопасность покупателя, оказало влияние на создание, в частности в рамках ЕС, гибкой системы подтверждения соответствия.

Экономическим результатом сертификации, регулирования безопасности и качества товаров и услуг является более полное удовлетворение потребления или затрат на продукцию, увеличение сбыта и, как следствие, увеличение прибыли производителя и экономия расходов покупателя.

Основными функциями центрального органа Системы сертификации Российской Федерации являются:

- организация, координация и методическое руководство работами по сертификации;
- установление основных принципов и правил сертификации;
- аккредитация органов по сертификации для испытательных лабораторий (центров);
- выполнение функции органа по сертификации какой-либо продукции при его отсутствии;
- организация инспекционного контроля за деятельностью аккредитованных органов по сертификации и испытательных лабораторий (центров);
- взаимодействие с международными и зарубежными организациями |по вопросам сертификации;
- признание документов об аккредитации органов по сертификации испытательных лабораторий (центров) других стран, зарубежных сертификатов и знаков соответствия.

Следует иметь в виду, что все системы сертификации базируются на испытаниях и измерительном контроле. Поэтому основным структурным элементом всех систем сертификации являются испытательные лаборатории.

Сертификационные органы по своей структуре и статусу в разных странах различны. Прежде всего, это зависит от специфики их взаимоотношений с национальными органами по стандартизации и метрологии, с государственными учреждениями и промышленностью. В Российской Федерации руководство работами по сертификации возложено на Госстандарт РФ. Любой орган системы сертификации должен выполнять следующие функции:

- разработку порядка проведения сертификации;
- аттестацию и аккредитацию испытательных лабораторий;

- допуск предприятий к сертификации; выдача сертификатов соответствия или лицензий на право маркировки продукции Знаком соответствия;
- рассмотрение споров о качестве сертификационной продукции.

Аккредитацию органов по сертификации осуществляет центральный орган Системы.

Нормативными документами в области стандартизации и сертификации установлены три варианта документов свидетельствования о соответствии продукции: заявление о соответствии, аттестация соответствия и сертификация соответствия.

*Заявление о соответствии* — документ в виде заявления поставщика о его полной ответственности (вне рамок сертификационной системы), что продукция, услуга соответствуют определенному стандарту или другому нормативно-техническому документу, устанавливающему требования к продукции.

*Аттестация соответствия* — документ испытательной лаборатории третьей, независимой стороны, подтверждающий (также вне рамок сертификационной системы), что исследованный конкретный образец находится в соответствии с определенными стандартами или другими нормативно-техническими документами, устанавливающими требования к продукции.

*Сертификация соответствия* — гарантийный документ третьей стороны о том, что с заданной достоверностью продукция, услуга соответствуют установленным стандартам или другим требованиям, предъявляемым к продукции. При сертификации соответствия необходимы объективные испытания продукции, не подверженные влиянию ни производителя, ни потребителя. Сертификат соответствия выдается заявителю центральным органом Системы или органом по сертификации на основе лицензионного соглашения с центральным органом Системы. Срок действия сертификата соответствия устанавливается выдавшим его органом.

Применяемая в настоящее время нормативная база включает несколько вариантов систем сертификации, которые отличаются объемом и содержанием сертификационных работ. Во всех вариантах предусмотрено выполнение определенных аттестационных и контрольных функций, при положительных результатах которых сертифицируемой продукции может быть выдан соответствующий сертификат качества. В частности, один из вариантов Системы сертификации предусматривает аттестацию предприятия — изготовителя продукции, проведение типовых испытаний образцов продукции в специализированных испытательных центрах или лабораториях, а в последующем — испытания образцов, взятых как с производства, так и из торговли.

### **7.1.3 Законодательная база сертификации**

Законодательная база сертификации в нашей стране начала закладываться в 80-х гг. XX в., когда опыт, накопленный международными организациями в области разработки принципов и правил сертификации, стал использоваться в бывшем СССР.

Первым правовым нормативным актом в области сертификации в СССР было постановление Совета Министров от 18 сентября 1984 года № 984 «О порядке сертификации продукции машиностроения». Главной задачей введения сертификации было совершенствование действующих в стране методов повышения качества выпускаемой продукции и развитие ее экспортных возможностей.

Позже вопросы сертификации нашли отражение в ряде постановлений Совета Министров СССР. 22 мая 1991 г. Верховным Советом СССР был принят Закон «О защите прав потребителей», которым впервые в стране на законодательном уровне была введена обязательная сертификация продукции, товаров, работ и услуг, на которую в государственных стандартах установлены требования по обеспечению безопасности жизни, здоровья и имущества граждан, охраны окружающей среды.

Создание правовых основ сертификации в Российской Федерации началось с активной доработки и последующего принятия Верховным Советом Российской Федерации 7 апреля 1992 г. Закона РФ «О защите прав потребителей». Соответствующим постановлением Верховного Совета «О введении в действие Закона РФ «О защите прав потребителей» обязательная сертификация товаров (работ, услуг), вводилась в действие с 1 мая 1992 г.

Так постепенно в России сложилась структура законодательной и нормативной базы сертификации (рисунок 7.1).

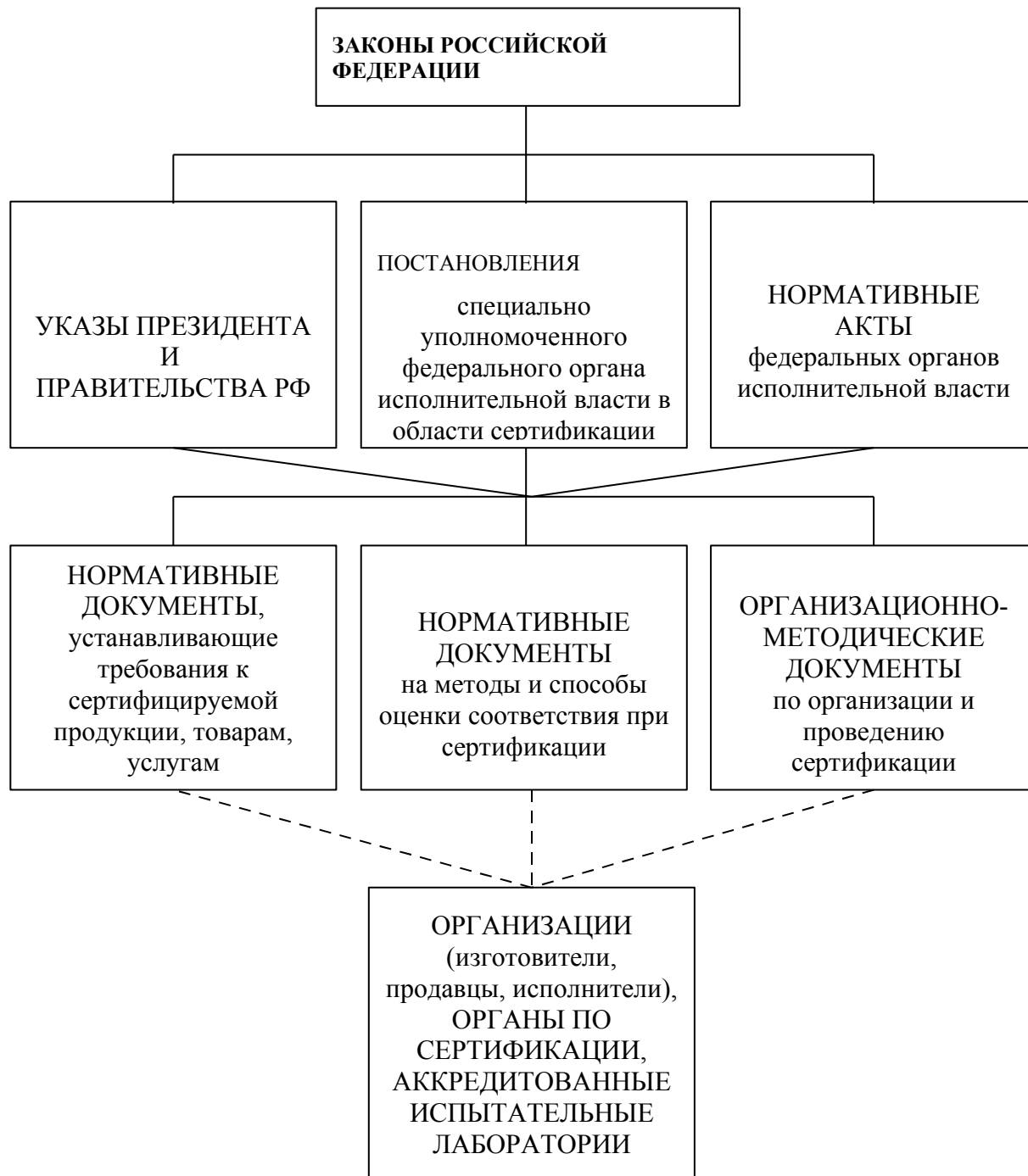


Рисунок 7.1 - Структура законодательной и нормативной базы сертификации

#### 7.1.4 Сертификация средств измерений

В последние годы в России (как и во многих развитых странах) к средствам измерений, применяемым в сферах *государственного метрологического контроля и надзора* (ГМКиН), стали предъявляться специфические законодательные требования. Поэтому испытания средств измерений, проводимые для утверждения типа, а также их поверка являются традиционными видами деятельности государственных метрологических служб.

В Российской Федерации Система испытаний и утверждения типа средств измерений действует в соответствии с Законом «Об обеспечении единства измерений» и направлена на обеспечение выполнения метрологических норм и правил им предусмотренных. Кроме того, на средства измерений распространяются действия Закона РФ «О сертификации продукции и услуг».

Сертификация средств измерений в Российской Федерации осуществляется согласно Системе сертификации средств измерений, которая предусматривает:

- добровольную сертификацию средств измерений на соответствие метрологическим нормам и правилам;
- разработку и ведение нормативных документов, устанавливающих метрологические нормы и правила на средства измерений;
- разработку и ведение типовых программ испытаний для целей сертификации средств измерений;
- апробирование и утверждение в процессе сертификации методик калибровки средств измерений, а также подготовку предложений по межкалибровочным интервалам;
- аттестацию методик выполнения измерений с помощью сертифицированных средств измерений;
- создание разветвленной сети аккредитованных по видам измерений органов по сертификации средств измерений и испытательных лабораторий (центров) конкретных групп средств измерений;
- сотрудничество с национальными метрологическими службами стран по взаимному признанию аккредитации органов, лабораторий (центров), сертификатов соответствия, знаков соответствия, а также результатов сертификации средств измерений.



Поскольку ряд групп средств измерений, применяемых в сферах ГМКиН, включены в Перечень продукции, подлежащей обязательной сертификации, актуальной становится проблема взаимоувязки работ по метрологии и сертификации. Сейчас в рамках Системы испытаний и утверждения типа стала обязательной проверка в предусмотренных Законом РФ «Об обеспечении единства измерений» специализированных Государственных центрах испытаний всех характеристик и технических требований на испытываемые средства измерений.

В соответствии с «Порядком проведения работ по сертификации продукции в Системе сертификации электрооборудования на соответствие стандартам безопасности» сертификацию средств измерений проводят аккредитованные Госстандартом России органы по сертификации средств измерений с испытаниями в аккредитованных испытательных лабораториях средств измерений.

Сертификацию средств измерений только на соответствие метрологическим нормам и правилам выполняют в рамках добровольной Системы сертификации средств измерений, зарегистрированной Госстандартом России в соответствии с Законом РФ «О сертификации продукции и услуг».

Испытания с целью сертификации средств измерений, изготовленных у разработчика и подлежащих применению в сферах ГМКиН, совмещают с испытаниями на соответствие средств измерений утвержденному типу. Сертификацию средств измерений осуществляют аккредитованные органы по сертификации средств измерений по результатам испытаний, проведенных аккредитованными испытательными лабораториями (центрами) как самостоятельными, так и входящими в состав органов по сертификации. Орган по сертификации выдает сертификат соответствия на средства измерений, подлежащие применению в сфере ГМКиН, только при положительных результатах испытаний на соответствие утвержденному типу.

## **7.2 Система стандартизации**

В настоящее время ускорение технического прогресса, повышение качества и надежности изделий радиоэлектроники, создание основы для широкого развития специализации производства и внедрения комплексной механизации и автоматизации производственных процессов неразрывно связаны со стандартизацией. Главные аспекты бурного внедрения стандартизации в России: возрастающая сложность управления современным хозяйством; быстрое развитие науки и техники; усовершенствование систем, устройств и изделий, в разработке которых участвует большое число фирм; создание и освоение новых материалов; повышение требований к качеству, надежности и долговечности изделий; необходимость быстрой переналадки производства и т. д.

В наши дни во всех передовых странах стандартизация становится всеобъемлющей, пронизывающей все звенья промышленности. Стандартизация основывается на объединенных достижениях науки, техники и передового

опыта и определяет основу не только настоящего, но и будущего развития, и должна осуществляться неразрывно с техническим прогрессом. Стандартизация как область практической деятельности тесно связана с сертификацией. И стандартизация, и сертификация призваны решать одну общую задачу – обеспечить необходимый уровень качества продукции, процессов, услуг. Стандартизация является нормативной базой сертификации.

В Российской Федерации введена и действует государственная система стандартизации (ГСС), объединяющая и упорядочивающая действия по стандартизации на всех уровнях производства и управления на основе комплекса государственных стандартов. Отечественная система стандартизации включает стандарты, содержащие совокупность взаимосвязанных положений и правил, определяющих основные понятия, цели и задачи стандартизации; организацию и методику планирования и проведения работ по стандартизации; порядок разработки, внедрения и обращения стандартов и других нормативно-технических документов по стандартизации; порядок внесения в них изменений; контроль за внедрением и соблюдением стандартов; объекты стандартизации; категории и виды стандартов; правила построения, изложения, оформления и содержания стандартов и пр.

### **7.2.1 Основные понятия стандартизации**

Природа стандартизации кроется в массовости, многономенклатурности, многовариантности предметов, явлений и процессов, характерных для современного производства и реализации товаров и услуг. В целом широкое разнообразие товаров, техники, методов организации и управления – в явление, безусловно, прогрессивное. Однако практика постоянно обнаруживает прямую связь между увеличением масштабов создания нового, ростом темпов НТР – с одной стороны – и появлением в производстве, быту и других сферах человеческой деятельности неоправданного, расточительного многообразия объектов равнозначного или аналогичного функционального назначения – с другой.

Введем основные понятия и определения, касающиеся стандартизации, установленные законом Российской Федерации «О стандартизации» и стандартом в этой области ГОСТ Р 1.0-92. Изложенные ниже понятия и термины в области стандартизации разработаны с учетом рекомендаций международных организаций по стандартизации и приняты многими странами.

Упорядочивающее и системообразующее свойства стандартизации находят свое выражение в разработке и установлении норм, правил, требований, характеристик, обеспечивающий оптимальный уровень качества, безопасность и приемлемую цену продукции, процессов, услуг.

Итак, стандартизация — это деятельность по установлению норм, правил и характеристик (далее требования) в целях обеспечения:

- безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества;
- технической и информационной совместимости, а также

взаимозаменяемости продукции;

- качества продукции, работ и услуг в соответствии с уровнем развития науки, техники и технологии;
- единства измерений;
- экономики всех видов ресурсов;
- безопасности хозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций;
- обороноспособности и мобилизационной готовности страны.

В международной практике узаконено более простое определение стандартизации. Согласно ему, стандартизация — установление и применение правил с целью упорядочения деятельности в определенной области на пользу и при участии всех заинтересованных сторон, в частности для достижения всеобщей оптимальной экономии при соблюдении условий эксплуатации (использования) и требований безопасности.

*Объект стандартизации* — продукция, работа (процесс), услуга, подлежащие или подвергшиеся стандартизации (т.е. которые служат предметом работы по стандартизации и могут быть охарактеризованы количественно и качественно с помощью условных единиц, обозначений или понятий).

*Нормативный документ* — документ, устанавливающий правила, общие принципы, характеристики объектов стандартизации, касающиеся различных видов деятельности или их результатов.

*Стандарт* — нормативно-технический документ по стандартизации, устанавливающий комплекс норм, правил, требований к объекту стандартизации и утвержденный (принятый) признанным органом (предприятием). Стандарт разрабатывается на основе достижений науки, техники, передового опыта и должен предусматривать решения, оптимальные для общества. Стандарт может быть разработан как на материальные предметы (продукцию, сырье, образцы веществ), так и на нормы, правила, требования к объектам организационно-методического и общетехнического характера, порядок разработки документов, нормы безопасности, системы управления качеством и т.д.

Стандарты делятся на международные, межгосударственные, региональные, национальные, государственные, отраслевые, научно-технических и инженерных обществ, предприятий и другие виды.

*Международный стандарт* — стандарт, принятый международной организацией по стандартизации.

*Межгосударственный стандарт* (относится к стандартам регионального типа) — стандарт, принятый государствами, присоединившимися к соглашению о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации.

*Региональный стандарт* — стандарт, принятый региональной организацией (т.е. рядом стран только одного географического или экономического региона мира) по стандартизации.

*Национальный стандарт* — стандарт, принятый национальным органом по стандартизации.

Государственный стандарт Российской Федерации (ГОСТ РФ) — национальный стандарт, принятый Комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).

*Отраслевой стандарт* — (под отраслью понимают совокупность предприятий и организаций независимо от их территориального расположения и ведомственной принадлежности, разрабатывающих и (или) изготавливающих определенные виды продукции, относящиеся к номенклатуре продукции, закрепленной за министерством (ведомством), являющимся ведущим в ее производстве, например промышленность средств связи, приборостроение) — стандарт, принятый государственным органом управления в пределах его компетенции.

*Стандарт научно-технического, инженерного общества* - стандарт, принятый научно-техническим, инженерным обществом или другим общественным объединением.

*Стандарт предприятия* — стандарт, утвержденный определенным предприятием.

*Комплекс стандартов* — совокупность взаимосвязанных стандартов, объединенных общей целевой направленностью и устанавливающих согласованные требования к взаимосвязанным объектам стандартизации.

*Основополагающий стандарт* — стандарт, имеющий широкую область распространения или содержащий общие положения для определенной области.

*Идентичные стандарты* — гармонизированные стандарты, которые идентичны по содержанию и по форме представления.

*Сопоставимые стандарты* — стандарты на одну и ту же продукцию, процессы или услуги, утвержденные разными органами, занимающимися стандартизацией, в которых различные требования согласовываются на одних и тех же характеристиках и которые оцениваются с помощью одних и тех же методов, позволяющих однозначно сопоставить различия в требованиях.

*Взаимосвязанные стандарты* — два или несколько стандартов, устанавливающих совокупность взаимосвязанных требований.

*Унифицированные стандарты* — стандарты, которые идентичны по содержанию, но не полностью идентичны по форме представления.

*Международная стандартизация* — стандартизация, участие в которой открыто для соответствующих органов всех стран.

*Региональная стандартизация* — стандартизация, участие в которой принимают соответствующие органы стран только одного географического или экономического региона мира.

*Национальная стандартизация* — стандартизация, которая проводится на уровне одного государства.

*Комплексная стандартизация* — стандартизация, обеспечивающая согласование показателей взаимосвязанных объектов стандартизации и сроков введения их в действие, при которой существующие и разрабатываемые стандарты с точки зрения объектов и аспектов стандартизации необходимы и достаточны для реализации поставленной цели.

*Опережающая стандартизация* — стандартизация, при которой ус-

танавливаются на основе разработанных прогнозов требования к объектам стандартизации, повышенные по отношению к уже достигнутому на практике уровню и подлежащие внедрению в будущем, начиная с определенного срока.

*Местная стандартизация* — стандартизация, проводимая на предприятиях (объединениях) и устанавливающая требования, нормы и правила, применяемые только на данном предприятии (объединении).

Стандартизация по достигнутому уровню — стандартизация, устанавливающая показатели, отражающие свойства существующей и освоенной в производстве продукции и таким образом фиксирующая достигнутый уровень производства. Данный подход характерен при стандартизации показателей качества продукции массового производства межотраслевого применения (радиокомпоненты, реле, крепежные изделия, некоторые виды сырья и материалов и т.д.).

*Программа по стандартизации* — план работ органа, занимающегося стандартизацией, в котором перечисляются названия текущих работ по стандартизации.

*Область стандартизации* — совокупность взаимосвязанных объектов стандартизации.

*Аспект стандартизации* — вид требований, предъявляемых к объекту стандартизации.

*Технические условия (ТУ)* — нормативный документ на конкретную продукцию (услугу), утвержденный предприятием-разработчиком, как правило, по согласованию с предприятием-заказчиком (потребителем). Технические условия являются неотъемлемой частью комплекта технической документации на продукцию, на которую они распространяются.

Представление о сущности стандартизации закончим кратким описанием функций, в которых стандартизация себя проявляет. Назовем четыре основные функции: экономическую, информационную, социальную, коммуникативную.

*Экономическая функция* выражает себя через вклад стандартизации в научно-технический прогресс, поскольку она оказывает активное влияние на все составляющие производственного процесса, способствует совершенствованию предметов и средств труда, технологии и самого труда. С помощью нормативных документов предупреждается неоправданное разнообразие деталей, изделий, материалов, технологических процессов, устанавливается рациональная их номенклатура, определяются оптимальные параметрические и размерные ряды, обеспечивается высокий уровень взаимозаменяемости, устанавливаются в качестве обязательных оптимальные качественные характеристики.

*Информационная функция* стандартизации проявляет себя через создание нормативных документов (стандартов, технических условий), классификаторов и каталогов продукции, эталонов мер, образцов продукции, являющихся носителями ценной технической и экономической информации для потребителя. Ссылка, например, на стандарт при сертификации продукции или услуги является удобной и экономичной формой информации о качестве товара, услуги.

*Социальная функция* стандартизации проявляется себя через включение в нормативные документы (стандарты) и достижение в производстве таких показателей качества продукции и услуг, которые содействовали бы здравоохранению, отвечали бы санитарно-гигиеническим нормам и требованиям безопасности в использовании и возможности экологичной утилизации отходов.

*Коммуникативная функция* выражает себя через достижение взаимопонимания в обществе путем обмена информацией. Этому служат стандартизованные термины, трактовки понятий, символы, единые правила оформления деловой инструкторской и технологической документации и т.п. Эта функция содействует преодолению барьеров в торговле, обеспечивает сотрудничество в научной деятельности, в экономике и управлении.

### **7.2.2 Цели и задачи стандартизации**

Основными целями стандартизации являются:

- защита интересов государства и потребителей в вопросах номенклатуры и качества продукции, услуг и процессов, обеспечивающих их безопасность для жизни, здоровья людей и их имущества, охрану окружающей среды;

- повышение качества продукции в соответствии с развитием науки и техники, с потребностями населения и народного хозяйства;

- обеспечение совместимости и взаимозаменяемости продукции, а также развитие специализаций в области проектирования и производства продукции; установление рациональной номенклатуры выпускаемой продукции;

- содействие экономии людских и материальных ресурсов, Улучшению экономических показателей производства;

- устранение технических барьеров в производстве и торговле, обеспечение конкурентоспособности продукции на мировом рынке и эффективного участия государства в межгосударственном и международном Разделении труда;

- развитие международного экономического, технического и культурного сотрудничества; создание условий для развития экспорта товаров, отвечающих современным требованиям мирового рынка;

- ускорение научно-технического прогресса, повышение эффективности общественного производства и производительности труда (в том числе инженерного и управленческого);

- обеспечение безопасности народнохозяйственных объектов с учетом риска возникновения природных и техногенных катастроф и других чрезвычайных ситуаций;

- содействие повышению обороноспособности и мобилизационной готовности страны.

В соответствии с отмеченными целями основными задачами стандартизации являются:

- обеспечение взаимопонимания между разработчиками, изготовителями, продавцами и потребителями (заказчиками);

- унификация на основе разработки и применения параметрических и типоразмерных числовых рядов, базовых конструкций, унифицированных

блочно-модульных составных частей изделий;

- установление требований по совместимости (электрической, электромагнитной, конструктивной, информационной, алгоритмической, программной и пр.), а также взаимозаменяемости продукции;

- установление оптимальных требований к номенклатуре и качеству продукции в интересах потребителя и государства, в том числе обеспечивающих ее безопасность для жизни, здоровья людей и имущества, охрану окружающей среды;

- установление метрологических норм, правил, положений и требований;

- обеспечение единства и достоверности измерений в стране, создание государственных эталонов единиц физических величин и совершенствование методов и средств измерений высшей точности;

- нормативно-техническое обеспечение контроля испытаний, анализа, сертификации и оценки качества продукции;

- разработка требований к технологическим процессам, в том числе для снижения дополнительных затрат, материалоемкости, энергоемкости и трудоемкости с целью применения малоотходных технологий при производстве;

- установление единых систем документации, в том числе унифицированных, используемых в автоматизированных системах управления, установление систем классификации и кодирования технико-экономической информации, разработка форм и систем организации производства;

- нормативное обеспечение межгосударственных и государственных социально-экономических и научно-технических проектов и инфраструктурных комплексов (транспорт, связь, оборона, охрана окружающей среды, контроль среды обитания, безопасность страны, населения и пр.);

- создание системы каталогов для обеспечения потребителей информацией о номенклатуре и показателях продукции;

- содействие выполнению законодательства Российской Федерации методами и средствами стандартизации,

### **7.2.3 Категории и виды стандартов Российской Федерации**

При выборе объектов стандартизации необходимо однозначно определить категорию и вид предполагаемого к разработке стандарта, которые смогут обеспечить наибольший технико-экономический эффект от его внедрения

Исходя изэтих же соображений должна быть определена и степень обязательности разрабатываемого стандарта. При решении этой задачи кроме проведения анализа перспективности применения стандартизуемого объекта разработчикам стандарта необходимо иметь четкое представление об установленных государственной системой стандартизации и применяемых в радиоэлектронной промышленности категориях и видах стандартов — их назначении, содержании, построении и взаимосвязи и т.д.

Неправильное установление категории, вида или степени обязательности

разработанного стандарта может привести к серьезным затруднениям при его внедрении в проектирование и производство и в значительной степени обесценить технико-экономический эффект стандартизации.

**Категории стандартов.** В Российской Федерации в соответствии с единой государственной системой стандартизации в радиоэлектронной промышленности разрабатываются и применяются стандарты следующих трех категорий:

- государственные стандарты — ГОСТ;
- отраслевые стандарты — ОСТ;
- стандарты предприятий — СТП.

*Государственные стандарты* обязательны к применению всеми предприятиями, организациями и учреждениями во всех отраслях народного хозяйства. Их действие распространяется преимущественно на объекты межотраслевого применения, нормы, требования, параметры, показатели качества продукции, термины, обозначения и пр., необходимые для обеспечения единства и взаимосвязи различных областей науки, техники и производства, а также на продукцию массового и крупносерийного производства широкого и межотраслевого применения,

*Отраслевые стандарты* обязательны к применению всеми предприятиями, организациями и учреждениями данной отрасли, а также предприятиями и организациями других отраслей, использующих (потребляющих) продукцию этой отрасли. Отраслевые стандарты организационно-методического характера обязательны только для предприятий, организаций и учреждений утвердившего их министерства (ведомства). Отраслевые стандарты устанавливают требования к продукции, не относящейся к объектам государственной стандартизации и необходимые для обеспечения взаимосвязи в производственно-технической и организационно-управленческой деятельности предприятий, организаций и учреждений отрасли. К объектам отраслевой стандартизации, в частности, относятся: изделия серийного и мелкосерийного производства; конкретные виды продукции, для которой государственными стандартами установлены общие технические характеристики детали и сборочные единицы, технологическая оснастка и инструменты сырье, материалы, полуфабрикаты, технологические нормы и типовые технологические процессы внутриотраслевого применения; методика выполнения и нормы точности измерений.

Иногда отраслевые стандарты могут ограничивать применение государственных стандартов для используемой в отрасли номенклатуры ИЗ делий, типоразмеров и т.д. Однако при этом технические характеристики продукции, включенные в отраслевой стандарт, не могут быть ниже чем в государственном стандарте.

*Стандарты предприятия* являются обязательными только для предприятия, разработавшего и утвердившего данный стандарт. Эти стандарты могут распространяться на внутренние нормы и правила в области управления и организации производства, управления номенклатурой и качеством продукции; на составные части разрабатываемых или изготавливаемых на предприятии изделий; оснастку и инструмент, типовые технологические



процессы, методики измерений и контроля. Стандарты предприятия также могут с учетом особенностей конкретного предприятия ограничивать применение конкретной номенклатуры материалов, изделий, узлов и деталей, установленной стандартами других категорий.

Государственная система стандартизации устанавливает на продукцию и услуги стандарты предприятия всех категорий, которые в общем случае должны включать следующие разделы:

- общие технические условия и технические требования;
- классификацию, основные параметры и размеры;
- требования безопасности труда;
- требования охраны окружающей среды;
- типы, сортамент, марки и конструкция;
- правила маркировки, упаковки, транспортировки и хранения продукции;
- методы контроля и испытаний; ,
- эксплуатацию с последующим ремонтом и утилизацией.

**Виды стандартов.** В соответствии с единой государственной системой стандартизации в радиоэлектронной промышленности установлены следующие основные виды стандартов:

- основополагающие стандарты;
- стандарты на методы контроля;
- стандарты на работы и процессы;
- стандарты на продукцию и услуги.

Основополагающие общетехнические стандарты устанавливают:

- научно-технические термины и их определения, многократно используемые в науке, технике, промышленности, культуре;
- условные цифровые и буквенные обозначения параметров физических величин, их размерность, символы и т.д.;
- общетехнические величины, требования и нормы для технического и метрологического обеспечения технологических процессов.

Стандарты на методы контроля, испытаний, измерения и анализа должны обеспечивать проверку всех обязательных требований к качеству выпускаемой продукции. Причем методы контроля должны быть объективными и точными для обеспечения последовательных и воспроизводимых результатов.

*Стандарты на работы и процессы* устанавливают требования к методам и нормам выполнения различного рода работ и технологических процессов изготовления и эксплуатации продукции, обеспечивающие их оптимальность и техническое единство. При этом в стандартах указываются требования к оборудованию, инструменту, приспособлениям и вспомогательным материалам. Особое внимание уделяется охране природной среды при проведении технологических операций с определением допустимых норм воздействия и предотвращением аварийных выбросов и загрязнения.

*Стандарты на продукцию и услуги* включают требования как общие для группы однородной продукции, так и конкретные для определенного вида продукции или услуги. Номенклатуру, состав, содержание и наименования разделов определяют в соответствии с особенностями стандартизуемой

продукции и характером предъявляемых к ней требований. Стандарты на услуги содержат требования к качеству и ассортименту услуг, в том числе точности и своевременности исполнения, эстетичности, комфортности и комплексности обслуживания.

#### 7.2.4 Основные принципы и методы стандартизации

**Основные принципы стандартизации.** Основные результаты действия стандартизации оценивают по тем изменениям, которые она внесла в развитие научно-технического прогресса и хозяйственную деятельность. Для того чтобы стандартизация была эффективной, при ее проведении необходимо соблюдение определенных принципов. Рассмотрим их краткие характеристики.

Системный подход в стандартизации — направление практической деятельности, в основе которого лежит рассмотрение объектов стандартизации как систем. В основу этого подхода заложена система - целое, составленное из частей или, в современном понимании, множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом и образующих определенную целостность, единство. При использовании системного подхода в стандартизации необходимо ориентироваться на раскрытие целостности объекта, выявление многообразных типов связей в нем и сведение их в единую теоретическую картину.

*Системный подход* оказался необходимым методологическим средством стандартизации, используемым при изучении сложных технических конструкций, интерпретации их устройства и функций посредством норм, показателей и описаний. Наиболее простое представление об объектах стандартизации дает вид и тип системы одинаковых или аналогичных предметов и изделий. Начиная с производства, объекты стандартизации усложняются за счет структуры и развития связей. Тенденция к взаимодействию все больше характеризует качественные параметры свойств предмета.

*Научный подход* в стандартизации основан на том, что показатели, нормы, характеристики и требования, включаемые в стандарт, должны соответствовать передовому уровню науки и техники и основываться на результатах научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ. В связи с этим разработка всех видов и категорий стандартов должна вестись с учетом и использованием научных достижений в соответствующих областях, а в необходимых случаях разработке стандартов должно предшествовать проведение научно-исследовательских работ.

*Целенаправленность и технико-экономическая целесообразность* характеризуются тем, что проведение работ по стандартизации, разработка любого стандарта должны быть обоснованы и направлены на решение конкретных задач на соответствующих уровнях производства и управления.

*Прогрессивность и оптимальность* стандарта следует из самой сути стандартизации, отраженной в ее определении. Новые стандарты на продукцию должны не только отвечать современным запросам и конъюнктуре, но и

учитывать тенденции развития соответствующих отраслей.

При разработке стандартов необходимо стремиться получить оптимальное сочетание устанавливаемых показателей, норм и требований к продукции с затратами на их достижение, обеспечить максимальный экономический эффект при минимальных затратах.

**Основные методы стандартизации.** В зависимости от метода решения главной задачи стандартизации различают несколько ее основных форм: симплификацию, унификацию, типизацию и агрегатирование.

*Симплификация* заключается в простом сокращении числа применяемых при разработке изделия или при его производстве марок и сортаментов материалов, полуфабрикатов, комплектующих изделий и пр., до количества, технически и экономически целесообразного, достаточного для выпуска изделий с требуемыми показателями качества. Как правило, при симплификации в объекты стандартизации не вносят каких-либо существенных технических усовершенствований. Являясь простейшей формой и начальной стадией более сложных форм стандартизации, симплификация оказывается экономически выгодной, так как приводит к упрощению производства, облегчает отчетность, материально-техническое снабжение, складирование изделий.

*Унификация* — выбор оптимального числа разновидностей продукции, процессов и услуг, значений их параметров и размеров. Она заключается в рациональном сокращении числа типов, видов и размеров объектов одинакового функционального назначения и направлена на уменьшение числа разновидностей путем комбинирования двух или более разновидностей (характеристик).

*Типизация* — форма стандартизации, заключающаяся в разработке и установлении типовых решений (конструктивных, технологических, организационных и т.д.) на основе наиболее прогрессивных методов и режимов работы. Определение «типизация» непосредственно связано с двумя понятиями:

- *типоразмер изделия* — характеристика, определяющая отличие изделия от других изделий этой же конструкции (типа) хотя бы числовым значением любого параметра;

- *типоразмерный ряд* — совокупность типоразмеров изделия, построенная в соответствии с числовыми значениями одного из конкретных его параметров.

Применительно к разрабатываемым конструкциям типизация заключается в том, что некоторое конструктивное решение (существующее или специально разработанное) принимается за основное — базовое для нескольких одинаковых или близких по функциональному назначению изделий. Требуемая же номенклатура и варианты изделий строятся на основе базовой конструкции путем внесения в нее ряда второстепенных изменений и дополнений.

*Агрегатирование* — метод создания новых машин, приборов и другого оборудования путем компоновки конечного изделия из ограниченного набора стандартных и унифицированных узлов и агрегатов, обладающих геометрической и функциональной взаимозаменяемостью. Возможность

многократного применения элементов набора в различных модификациях машин, устройств и приборов одного и того же класса или близких по назначению решает ряд специфических задач: обеспечивает конструктивную преемственность при разработке и создании новых изделий; позволяет использовать освоенные на производстве узлы и агрегаты; значительно сокращает трудоемкость проектирования; изготовления, наладки и ремонта изделий; улучшает качество продукции; повышает уровень взаимозаменяемости продукции; способствует специализации предприятий, механизации и автоматизации производственных процессов, а также облегчает перестройку производства при переходе предприятий на освоение новой продукции.

В последние годы стратегическим направлением развития технических систем стало *модульное формирование техники* (МФТ), являющееся высшей формой стандартизации. Сущность МФТ заключается в комплектовании сложных комплексов с большим разнообразием характеристик и типоразмеров из одинаковых первичных (типовых или стандартных) общих элементов-модулей.

Государственный надзор за соблюдением стандартов. Государственный надзор (госнадзор) за соблюдением субъектами хозяйственной деятельности требований государственных стандартов на территории Российской Федерации организуют и осуществляют Госстандарт и специально уполномоченные органы управления в пределах их компетенции в соответствии с законом РФ «О стандартизации». Основной задачей государственного надзора является необходимость систематически контролировать соблюдение стандартов и повсеместно содействовать предупреждению нарушений обязательных требований к объектам стандартизации.

Государственный надзор за стандартами и средствами измерений проводится непромышленных объединениях, промышленных предприятиях, в научно-исследовательских институтах и проектно-конструкторских организациях.

Надзор охватывает все стадии цикла по выпуску продукции — проектирование, разработку, подготовку производства, изготовление, поставку, реализацию, эксплуатацию, хранение, ремонт и утилизацию, а также выполнение работ и оказание услуг. Распространяется надзор на все виды производимой продукции и призван контролировать деятельность предприятий по стандартизации, метрологии и управлению качеством.

Осуществляется государственный надзор как в форме выявления нарушений во внедрении и соблюдении требований стандартов, так и в форме контроля реализуемой продукции, в том числе сертификационных испытаний. В итоге, надзор оказывает предприятиям помощь в разработке и осуществлении мероприятий по выпуску продукции соответствующего качества. При этом предусматривается комплексная проверка основного предприятия и организаций, изготавливающих сырье, полуфабрикаты и комплектующие изделия.

В заключение подчеркнем, что деятельность по стандартизации весьма динамична, она всегда должна отвечать изменениям, происходящим во всех

сферах жизни общества, прежде всего в технике и экономике, стремиться успевать и предвосхищать эти изменения с тем, что нормативные документы (стандарты) способствовали развитию, а не торможению отечественного производства и сферы услуг.

### **7.2.5 Правовые основы стандартизации в Российской Федерации**

Правовые основы стандартизации в России обеспечиваются Законом Российской Федерации «О стандартизации». Закон действует во взаимосвязи с рядом других законодательных актов РФ, таких как закон «Об обеспечении единства измерения» и «О сертификации продукции и услуг», а также с Постановлениями Правительства РФ, принятыми во исполнение Закона РФ «О стандартизации».

Закон устанавливает правовые основы стандартизации в РФ, обязательные для всех государственных органов управления, а также предприятий и предпринимателей, общественных объединений, и определяет меры государственной защиты интересов потребителей и государства посредством разработки и применения нормативных документов по стандартизации.

Понятие стандартизации Закон толкует как деятельность, направленную на определение норм, правил, требований, характеристик, которые должны обеспечивать безопасность продукции, работ и услуг, их техническую и информационную совместимость, взаимозаменяемость, качество продукции (услуг) в соответствии с достижениями научно-технического прогресса.

Нормы и требования могут относиться также к безопасности хозяйственных объектов в чрезвычайных ситуациях (например, природные и техногенные катастрофы), к обороноспособности и мобилизационной готовности страны.

Перечисление цели стандартизации в РФ, установленные Законом, полностью гармонизированы с аналогичными целями стандартизации, принятыми в развитых странах мира, а также в документах международных организаций по стандартизации (ИСО, МЭК и др.).

Закон «О стандартизации» регламентирует:

- организацию работ по стандартизации в РФ;
- международное сотрудничество в области стандартизации;
- информационное обеспечение работ по стандартизации, издание и реализацию нормативных документов;
- порядок поведения государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований государственных стандартов;
- финансирование работ по государственной стандартизации, государственному контролю и надзору;
- ответственность за нарушение положений Закона «О стандартизации»;

- экономическое стимулирование применения государственных стандартов.

Вопросы государственного управления стандартизацией в Российской Федерации, включая координацию деятельности государственных органов управления РФ, взаимодействие с органами власти субъектов РФ, общественными объединениями, субъектами хозяйственной деятельности Законом закреплены за Комитетом Российской Федерации по стандартизации, метрологии и сертификации (Госстандарт России).

## **7.2.6 Государственная система стандартизации Российской Федерации (ГСС РФ)**

### **1. Состав и назначение стандартов ГСС РФ**

ГСС РФ представляет собой комплекс взаимосвязанных основополагающих государственных стандартов, в состав которого входят следующие нормативные документы:

- ГОСТ Р 1.2 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила разработки, утверждения, обновления и отмены.»;
- ГОСТ Р 1.0 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения.»;
- ГОСТ Р 1.4 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты организаций. Общие положения.»;
- ГОСТ Р 1.5 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты национальные Российской Федерации. Правила построения, изложения, оформления и обозначения.»;
- ПР 50.1.001-93 «Правила согласования и утверждения технических условий.»;
- ГОСТ Р 1.8 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Стандарты межгосударственные. Правила проведения в Российской Федерации работ по разработке, применению, обновлению и прекращению применения.»;
- ГОСТ Р 1.9 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Знак соответствия национальным стандартам Российской Федерации. Изображения. Порядок применения.»;
- ГОСТ Р 1.10 – 2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Правила стандартизации и рекомендации по стандартизации. Порядок разработки, утверждения, изменения, пересмотра и отмены.».

Как видно из названий документов, перечисленные стандарты ГСС РФ определяют основные стороны практической деятельности по стандартизации в масштабах страны.

Стандарты устанавливают цели и задачи стандартизации, организационные вопросы и методику выполнения работ по стандартизации, категории и виды нормативных документов, объекты стандартизации, порядок разработки, внедрения, обращение стандартов и других нормативных документов по стандартизации, проведения их аннулирования и корректировки, единые правила построения, изложения и оформления стандартов.

Стандарт согласно ГОСТ Р 1.0-92 – это нормативный документ по стандартизации, разработанный, как правило, на основе согласия, характеризующегося отсутствием возражений по существенным вопросам у большинства заинтересованных сторон, принятый, признанным органом (организацией, предприятием).

Стандарты основываются на обобщенных результатах науки, техники и практического опыта и направлены на достижение оптимальной пользы для общества.

## ***2. Виды стандартов, применяемых в Российской Федерации***

В Российской Федерации используется несколько видов стандартов, которые отличаются назначением и спецификой объекта стандартизации: основополагающие стандарты; стандарты на продукцию (услуги); стандарты на работы (процессы); стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа). Основополагающие стандарты разрабатываются в целях обеспечения взаимопонимания, единства подходов и взаимосвязи деятельности науки, техники и производства. Основополагающие стандарты устанавливают также принципы, требования, правила и нормы, которые рассматриваются в качестве общих и должны содействовать решению общих целей как для науки, так и для производства.

## ***3. Органы и службы стандартизации в России***

Работа по стандартизации в Российской Федерации организуется и осуществляется системой органов и служб по стандартизации, которую составляют:

- Госстандарт России – национальный орган по стандартизации Российской Федерации;
- Управление технического нормирования, стандартизации и сертификации Госстроя России;
- подразделения стандартизации, сертификации, метрологии федеральных министерств и ведомств РФ;
- технические комитеты (ТК) по стандартизации, создаваемые на добровольной основе заинтересованными сторонами (предприятиями и организациями);
- подразделения стандартизации (отделы, бюро, группы), создаваемые субъектами хозяйственной деятельности (предприятиями и организациями).

#### **4. Порядок разработки государственных стандартов**

Создание стандарта от планирования его разработки до издания осуществляется в определенной последовательности, которая предусматривает, как правило, следующие стадии (ГОСТ Р 1.2 – 2004):

1-я стадия – организация разработки стандарта и составление технического задания на разработку;

2-я стадия – разработка проекта стандарта (первой, при необходимости последующих редакций);

3-я стадия – разработка окончательной редакции проекта стандарта и представление его в Госстандарт России для принятия стандарта;

4-я стадия – принятие и государственная регистрация (присвоение номера) стандарта;

5-я стадия – издание стандарта.

Государственный стандарт в процессе его применения может подвергаться проверке, в необходимых случаях в него вносят изменения, стандарт может быть пересмотрен или отменен, вовсе аннулирован.

#### **Контрольные вопросы для самопроверки**

- 1 Сформулируйте основные постулаты метрологии. Назовите основные виды измерений.
- 2 Назовите основные методы измерений.
- 3 Охарактеризуйте основные виды погрешностей измерений.
- 4 Какими методами корректируют (уточняют) результаты измерений?
- 5 Что такое качество измерений?
- 6 Дайте характеристику принципов обработки результатов различных видов измерений.
- 7 Что такое динамические измерения и их погрешности?
- 8 На чем основана теория расчетного суммирования погрешностей?
- 9 Расшифруйте понятия коррелированных и некоррелированных случайных величин.
- 10 Что считается границей между этими случайными величинами при их суммировании?
- 11 Как суммируются случайные и систематические погрешности?
- 12 Назовите виды средств измерений.
- 13 В чем заключается нормирование метрологических характеристик СИ?
- 14 Назовите виды погрешностей.
- 15 Дайте характеристику погрешностей цифровых СИ.
- 16 Что такое класс точности СИ? 1,6. Что такое рабочая зона СИ?
- 17 В чем отличие метрологических характеристик аналоговых и цифровых СИ?
- 18 Как осуществляется нормирование динамических погрешностей СИ?
- 19 Что такое испытание и чем оно отличается от измерения?
- 20 Что такое контроль и чем он отличается от измерения?
- 21 Какие виды контроля существуют?



- 22 Что такое вероятность ошибок первого и второго рода? Что они характеризуют?
- 23 В чем состоят основные принципы выбора СИ?
- 24 Дать характеристику выбора СИ:
- 25 В чем заключаются основные особенности выбора СИ при динамических измерениях?
- 26 В чем состоит специфика выбора цифровых СИ? Дайте определение комплексной стандартизации.
- 27 Перечислите основные межотраслевые системы стандартов.
- 28 Каковы цели Единой системы конструкторской документации?
- 29 Что предусматривает Единая система технической документации?
- 30 Охарактеризуйте содержание Единой системы технологической подготовки производства.
- 31 Опишите Единую систему стандартов приборостроения.
- 32 В чем состоит суть опережающей стандартизации?

### **Список использованных источников**

1. Сборник основополагающих стандартов в области метрологии. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 12 с.
2. ГОСТ 8.010-72. ГСИ. Общие требования к стандартизации и аттестации методик выполнения измерений. - М. : Изд-во стандартов, 1972. – 18 с.
3. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормирование и использование метрологических характеристик средств измерений. - М. : Изд-во стандартов, 1984. – 14 с.
4. Тюрин, Н. И. Введение в метрологию : учеб. пособие / Н. И. Тюрин. – М. : Изд-во стандартов, 1985. – 240 с.
5. Рабинович, С. Г. Погрешности измерений / С. Г. Рабинович. – Л. : Энергия, 1978. – 210 с.
6. Назаров, Н. Г. Метрология. Основные понятия и математические модели : учеб. пособие / Н. Г. Назаров. – М. : Высш. шк., 2002. – 312 с..
7. Сергеев, А. Г. Метрология, стандартизация, сертификация : учеб. пособие / А. Г. Сергеев, М. В. Латышев, М. Терегеря. – М. : Логос, 2003. – 112 с.
8. Булатов, В. Н. Основы проектирования и конструирования РЭА : учеб. пособие / В. Н. Булатов, Д. А. Даминов. – Оренбург : ИПК ГОУ ОГУ, 2006. – 288 с.
9. Струмилин, С. Г. Очерки экономической истории России / С. Г. Струмилин. – М., 1960. – 210 с.
10. Хайек, Ф. Пагубная самонадеянность / Ф. Х айек. – М. : Новости, 1992. – 65 с.
11. Трайер В. В. Концепция стратегического планирования для России начала XXI века / В. В. Трайер, А. И. Каширин, Ю. М. Швырков. – 2-е изд., доп. – М. : Макс Пресс, 2001. – 234 с.

12. Абдеев, Б. Я. Основы метрологии и электрические измерения : учебник / Б. Я. Абдеев, Е. М. Антонюк, Е. М. Душин. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 386 с.
13. Спортивная метрология : учебник / под ред. В. М. Зациорского. – М. : Физкультура и спорт, 1982. – 364 с.
14. Тарасов, С. Г. Самонастраиваемые измерительные приборы / С. Г. Тарасов. – Киев : Наукова думка, 1981. – 314 с.
15. Бромберг, Э. М. Тестовые методы повышения точности измерений / Э. М. Бромберг, К. П. Куликовский. – М. : Энергия, 1978. – 176 с.

## **Приложение А** *(Справочное)*

### **Рекомендации по выбору СИ**

#### **А.1 Общие положения**

**А.1.1** При оценке правильности выбора средств и методов измерений необходимо учитывать:

- условия применения;
- соответствие выбранных режимов измерения требованиям НТД на средства измерений;
- условие согласования по входному и выходному сопротивлению;
- соблюдение требований по полосе пропускания СИ и т.д.

**А.1.2** Выбирая СИ необходимо учитывать экономическую целесообразность и удовлетворять условиям получения необходимых значений проверяемых параметров. Из ряда нескольких близких по своим характеристикам СИ, в зависимости от поставленной задачи, решающим фактором может быть условие эксплуатации, градуировка шкалы (эффективное, среднее, амплитудное значение), быстродействие, габариты, масса и т.д.

**А.1.2.1** При выборе СИ по входному сопротивлению необходимо учитывать, что сопротивление амперметра не равно нулю, а сопротивление вольтметра не равно бесконечности. Лишь нулевой метод позволяет произвести измерение без изменения измеряемой величины.

Погрешность, являющаяся результатом включения измерительных приборов в исследуемую цепь и обусловленную потребляемой ими мощностью, будем называть методической погрешностью. При измерении тока и напряжения методическая погрешность тем больше, чем больше потребляемая приборами мощность по сравнению с мощностью исследуемой цепи.

Методическая погрешность будет равна:

при включении амперметра

$$\gamma_a = - \frac{\frac{r_a}{r}}{1 + \frac{r_a}{r}},$$

при включении вольтметра

$$\gamma_v = - \frac{\frac{r}{r_v}}{1 + \frac{r}{r_v} + \frac{r}{r_0}},$$

где  $r$  - сопротивление цепи,

$r_a$  - сопротивление амперметра

$r_v$  - сопротивление вольтметра,

$r_0$  - внутреннее сопротивление источника тока.

Таким образом, в обоих случаях при измерении тока и напряжения тока необходимо выбирать такие приборы, у которых потребляемая мощность значительно меньше мощности исследуемой цепи. Этим и объясняется стремление иметь в амперметрах возможно меньшее, а в вольтметрах возможно большее сопротивление.

Особенно тщательно необходимо подходить к вопросу согласования входных и выходных сопротивлений при измерениях напряжений высокой частоты. В этих случаях руководствоваться рекомендациями, изложенными в инструкциях по эксплуатации конкретных приборов.

**А.1.2.2** При выборе СИ необходимо учитывать, что шкалы приборов могут быть градуированы в действующих, средних или амплитудных значениях величины.

Стрелочные приборы	} - измеряют среднее значение
Магнитоэлектрические (М)	
Ферродинамические (Ф)	

Электромагнитной системы (Э)	} - действующее значение
Электродинамической системы (Д)	
Электростатической системы (С)	

Комбинированные приборы (Ц) – среднее значение (шкалы их проградуированы в действующих значениях)

Поэтому результаты измерений в цепях пульсирующего напряжения с помощью приборов типа М, Ф и Э (Д,С,Ц) или переменного напряжения с искаженной синусоидой с помощью приборов типа Э и Ц будут различны.

Электронные вольтметры могут быть отградуированы в амплитудных, средневыпрямленных, среднеквадратических (эффективных, действующих) значениях переменного напряжения и (или) тока; постоянного напряжения и (или) тока; мгновенного значения напряжения и (или) тока.

При измерении напряжений с нелинейными искажениями, вольтметрами, шкала которых проградуирована в эффективных значениях для синусоидального напряжения, появляется дополнительная погрешность измерения (значение относительной дополнительной погрешности приблизительно равно коэффициенту нелинейных искажений синусоидального напряжения).

**А.1.2.3** При оценке погрешности выбранного прибора нужно учитывать, что основная погрешность может нормироваться различными способами. У большинства стрелочных приборов и электронных вольтметров основная погрешность нормируется как погрешность, приведенная к пределу измерения.

*Например*, прибор Э-615 класса 0,5 на шкале 300 В имеет абсолютную погрешность 0,5 В. Это означает, что при измерении напряжения 10 В на этой шкале его относительная погрешность равна:

$$\delta_g = \pm \frac{0.5 \times 300}{100} = \pm 1.5\%$$

т.е. относительная погрешность измерения возрастает при уменьшении измеряемой величины. Поэтому предпочтительно выбирать измерительный прибор с такими пределами, чтобы величина измеряемого параметра находилась в последней трети части шкалы.

При измерении величины напряжения с помощью осциллографов нужно учитывать, что его погрешность измерения пронормирована как относительная. Поэтому абсолютное отношение погрешности вычисляется как произведение измеряемой величины на величину относительной погрешности.

*Например*, осциллограф С1 – 54 ( $\delta_g = 5\%$ ) позволяет измерять напряжение 20 В с погрешностью  $\Delta = 20\text{В} \times 0,05 = 1\text{В}$ . Считается, что визуальная погрешность совмещения составляет 1/5, а погрешность отсчета 1/3 ширины луча  $\epsilon$ . При измерении амплитуды импульсов относительная визуальная погрешность

$$\delta_{\text{визм}} \approx \frac{0,4\epsilon}{h} \times 100\%,$$

где  $\epsilon$  и размер изображения  $h$  в мм.

**А.1.2.4** При оценке погрешности средств измерений необходимо учитывать частотные характеристики приборов. Так, например, погрешность электронных вольтметров переменного тока при измерении напряжений в диапазоне рабочих частот может колебаться в широких пределах: для ВЗ-40 от 1,5 % до 15 %, ВЗ-48 от 2,5 % до 10 % и т.д. Особенно это следует учитывать при применении стрелочных приборов, класс точности которым присваивается по применению на номинальной частоте.

**А.1.2.5** При оценке погрешности средств измерений нужно учитывать условия выполнения измерений. Для применения в условиях производства необходимо отдавать предпочтение приборам, которые могут эксплуатироваться в жестких условиях. Не рекомендуется применять на производственных участках высокочастотные приборы, требующие обеспечения нормальных условий измерения, т.е. определенной температуры, влажности. Отсутствия магнитных полей, пыли и т.д. При применении таких приборов без соблюдения допустимых условий эксплуатации, их погрешность может значительно превышать допустимое значение.

**А.1.3** при назначении средств измерений сопротивления необходимо учитывать, что выпускаемые стрелочные приборы – омметры имеют, как правило, нелинейную шкалу. Погрешность их нормирована к длине шкалы. При пересчете к виду относительной погрешности, погрешность значительно изменяется. Наименьшая погрешность омметра имеет место в середине шкалы и равна 4-х кратному значению присвоенного класса. В начале шкалы и конце шкалы погрешность возрастает до 30 + 30 % измеряемого значения.

Например, прибор Ц 4312 на шкале «X1» при измерении сопротивлений присвоен класс I (I %)/. При измерении 3 кОм (шкала «X10») погрешность будет равна  $\delta_g = 4\%$  (0,12кОм), а при измерении 30 кОм на этой шкале погрешность может достигать значения  $\delta_g = 20\%$  (6 кОм).

При применении цифровых омметров погрешность вычисляется по формулам, приведенным в НТД на приборы.

## **А.2 Выбор си силы тока и напряжения**

**А.2.1** Стандарт устанавливает соотношения между погрешностью измерения и допуском контролируемого параметра.

В случаях, когда на контролируемый параметр не установлен допуск или величина заданного допуска превышает указанные в таблице интервалы допусков, следует применять приборы класса точности 6,0 или 4,0.

Если пользование таблицами не обеспечивает заданный документацией допуск или погрешность, то выбор класса точности следует производить расчетным путем.

Методика расчета произведена в примере данного Приложения. Выбор класса точности электронных приборов производится расчетным путем по методике примера Приложения А.

Выбор предела измерения производится по таблице А.1.

**А.2.2** Пример выбора верхнего предела измерения и класса точности измерительного средства.

Документацией задано напряжение  $(115 \pm 10)$  В. Определим величину допуска контролируемого напряжения (приложение определение допуска). Для нашего случая величина допуска равна:

$$/115+10/-/115-10/=20\text{В.}$$

Но таблице А.1 необходимо, что для контроля напряжения номинального значения 115 В следует выбрать прибор с верхним пределом измерения 150 В.

В этой строке находят столбец с интервалом допусков, между предельными значениями которых находится контролируемый допуск 20 В.

Заголовок этого столбца «4,0» указывает, что класс точности искомого прибора 4,0.

Зная класс точности, верхний предел измерения и учитывая рекомендации п. 1.1 и 1.2 по номенклатурному справочнику выбирают тип прибора.

**А.2.3** Пусть задана величина силы тока  $(8 \pm 0,06)$ .

Величина допуска составляет 0,12 А. по таблице А.1. Для контроля тока с номинальным значением 8 А следует выбирать амперметр с верхним пределом измерения 10 А.

В таблице А.1 нет прибора, который обеспечивал бы измерение с допуском 0,12 А.

Номинальная относительная погрешность определения измеряемого тока будет:

$$\gamma_{\text{н.изм}} = \frac{\text{погрешность} \cdot \text{измерения}}{\text{номинальное} \cdot \text{значение} \cdot \text{измеряемой} \cdot \text{величины}} \times 100.$$

С учетом требований п. 2.1 данного приложения погрешность измерения составит:

$$\frac{0,12 \times 30}{100} = \frac{0,36}{10} = 0,036$$

$$\gamma_{н.изм} = \frac{0,036}{8} \times 100 = \frac{0,009}{2} \times 100 = 0,009 \times 50 = 0,45 \geq \gamma_{н.прибора}$$

Тогда можно определить класс прибора по следующей формуле:

$$\gamma_{н.прибора} = \gamma_{пр} \cdot \frac{Am}{An} \leq 0,45,$$

где  $\gamma_{пр}$  - приведенная относительная погрешность, равная точности прибора;

$Am$  - максимальная измеряемая величина данным прибором;

$An$  - измеряемая величина.

Подставляя в формулу известные данные и решая неравенство, получим  $\gamma_{пр} \leq 0,36$ .

В соответствии с делением по классам точности измерительных приборов электромеханической группы выбирают прибор класса точности не хуже 0,2.

Таблица А.1

Номинальное значение контролируемого параметра $S_v$ мкА, мА, кА, мВ, В.	Предел измерен. и значае-мого прибора	Класс точности прибора									
		Погрешность измерения, не более									
		Допуск контролируемого параметра, не менее									
0,6 до 0,8	0-1,0	0,001	0,002	0,003	0,0036	0,0043	0,01	0,016	0,026	0,43	0,054
		0,003	0,006	0,009	0,0120	0,017	0,03	0,050	0,080	0,13	0,180
0,8 до 1,2	0-1,5	0,002	0,003	0,004	0,0043	0,01	0,016	0,026	0,04	0,06	0,086
		0,006	0,009	0,012	0,0170	0,03	0,050	0,080	0,12	0,20	0,260
1,2 до 1,6	0-2,0	0,003	0,004	0,0043	0,01	0,013	0,021	0,033	0,056	0,086	0,1
		0,009	0,012	0,017	0,03	0,040	0,065	0,100	0,170	0,260	0,3
1,6 до 2,0	0-2,5	0,004	0,0043	0,01	0,013	0,016	0,026	0,042	0,063	0,1	0,13
		0,012	0,0170	0,03	0,040	0,05	0,080	0,140	0,210	0,3	0,40
2,0 до 2,5	0-3,0	0,0043	0,01	0,013	0,016	0,02	0,03	0,05	0,08	0,13	0,144
		0,0170	0,03	0,040	0,05	0,06	0,09	0,15	0,24	0,40	0,480
2,5 до 4,0	0-5,0	0,010	0,013	0,016	0,02	0,026	0,053	0,083	0,13	0,23	0,26
		0,030	0,040	0,05	0,06	0,080	0,16	0,25	0,40	0,7	0,80
4,0 до 6,0	0-7,5	0,013	0,016	0,02	0,026	0,033	0,076	0,13	0,2	0,33	0,4
		0,040	0,050	0,06	0,080	0,100	0,230	0,40	0,6	1,0	1,2
6,0 до 8,0	0-10,0	0,016	0,02	0,026	0,033	0,066	0,1	0,16	0,26	0,43	0,54
		0,050	0,06	0,080	0,100	0,200	0,3	0,50	0,80	1,30	1,80
8,0 до 12,0	0-15,0	0,02	0,026	0,033	0,066	0,1	0,16	0,26	0,4	0,66	0,86
		0,06	0,080	0,100	0,200	0,3	0,50	0,80	1,2	2,00	2,60
12,0 до 16,0	0-20,0	0,026	0,033	0,066	0,1	0,12	0,216	0,33	0,43	0,86	1,2
		0,080	0,100	0,200	0,3	0,36	0,650	1,00	1,70	2,60	3,6
16,0 до 20,0	0-25,0	0,033	0,036	0,1	0,13	0,16	0,26	0,42	0,66	1,0	1,33
		0,100	0,260	0,3	0,40	0,50	0,80	1,40	2,00	3,0	4,00
20,0 до 25,0	0-30,0	0,066	0,1	0,13	0,16	0,2	0,3	0,5	0,8	1,33	1,44
		0,200	0,3	0,40	0,50	0,6	0,9	1,5	2,4	4,00	4,80

25,0 до 40,0	0-50,0	0,1	0,13	0,16	0,2	0,26	0,53	0,83	1,33	2,33	2,6
		0,3	0,40	0,50	0,6	0,80	1,60	2,50	4,00	7,00	8,0
40,0 до 60,0	0-75,0	0,13	0,16	0,2	0,26	0,33	0,76	1,33	2,0	3,33	4,33
		0,40	0,50	0,6	0,80	1,00	2,30	4,00	6,0	10,00	13,00
60,0 до 80,0	0-100,0	0,16	0,2	0,26	0,5	0,66	1,0	1,6	2,6	4,33	5,4
		0,50	0,6	0,80	1,5	2,00	3,0	5,0	8,0	13,00	18,00
80,0 до 120,0	0-150,0	0,2	0,3	0,5	0,86	1,0	1,6	2,6	4,0	6,66	9,0
		0,6	0,9	1,5	2,6	3,0	5,0	8,0	12,0	20,00	27,00
120,0 до 160,0	0-200,0	0,3	0,5	0,86	1,0	1,33	2,16	3,33	4,33	8,66	10,0
		0,9	1,5	2,6	3,0	4,00	6,50	10,00	17,00	26,0	30,00
160,0 до 200,0	0-250,0	0,5	0,83	1,0	1,33	1,6	2,3	4,33	7,0	10,0	13,3
		1,5	2,5	3,0	4,0	5,0	7,0	13,00	21,0	30,0	40,0
200,0 до 250,0	0-300,0	0,83	1,0	1,33	1,6	2,16	3,0	5,0	8,0	13,33	14,4
		2,5	3,0	4,00	5,0	6,50	9,0	15,0	24,0	40,0	48,0
250,0 до 400,0	0-500,0	1,0	1,33	1,6	2,3	2,66	5,33	8,33	13,33	23,33	26,0
		3,0	4,00	5,0	7,0	8,00	16,00	25,00	40,00	70,0	80,00
400,0 до 600,0	0-750,0	1,33	1,6	2,3	2,66	3,33	7,66	13,33	20,0	33,3	43,3
		4,00	5,0	7,0	8,00	10,00	23,00	40,00	60,0	100,0	130,0
600,0 до 800,0	0-1000,0	1,6	2,3	2,66	3,33	6,66	10,0	16,6	26,6	43,33	54,0
		5,0	7,0	8,0	10,00	20,00	30,0	50,0	80,0	130,0	180,0

**A.2.4** Пусть требуется проконтролировать напряжение  $27V \pm 6\%$  (+1,6 В) на частоте 1000 Гц.

Величина входного сопротивления вольтметра на измеряемой частоте должна учитывать требования, изложенные в п. 1.2.1 настоящего Приложения.

По таблице А.1 находим, что для контроля напряжения номинальным значением 27 В, следует выбрать прибор с верхним прибором измерения 50 В. Исходя из известных данных, можно подобрать несколько электронных вольтметров. В нашем случае ими могут быть: ВЗ-41, В7-16, ВЗ-40, В7-27.

**A.2.4.1** Вольтметр ВЗ-41 на частоте 1000 Гц и пределе 50 В имеет погрешность  $\pm 4\%$ . Номинальная относительная погрешность измерения прибором равна:

$$\gamma_n = 4 \times \frac{50}{27} = 7,4\%$$

следовательно, напряжение  $(27+1,6)$  В измеряется с погрешностью  $\pm 7,4$  или  $1,998V \approx 2,0V$ . Что дает относительную погрешность измерения:

$$\frac{2,0}{3,2} \times 100 = 62\%$$

Данный прибор не может быть использован для контроля напряжения  $27V \pm 1,6$  В, так как величина относительной погрешности превышает установленную данным стандартом величину.



**A.2.4.2** Прибор В7-16 на частоте 1000 Гц и пределе 50 В имеет погрешность  $\pm 0,5\%$ . Номинальная относительная погрешность

$$\gamma_n = 0,5 \frac{50}{27} = 0,9\% .$$

Напряжение  $27 \text{ В} \pm 1,6 \text{ В}$  измеряется с погрешностью  $\pm 0,9\%$  или  $\pm 0,24 \text{ В}$ , что дает относительную погрешность измерения:

$$\frac{0,24}{3,2} \times 100 = 7,5\% .$$

Использование данного прибора является экономически нецелесообразным.

**A.2.4.3** Вольтметр ВЗ-40 на интересующей нас частоте и пределе 50 В имеет погрешность  $\pm 2,5\%$ . Номинальная относительная погрешность равна:

$$\gamma_n = 2,5 \frac{50}{27} = 4,6\% .$$

Следовательно, величина напряжения  $27 \text{ В} \pm 1,6 \text{ В}$  измеряется с погрешностью  $\pm 4,6\%$  или  $1,24 \text{ В}$ , что дает относительную погрешность измерения:

$$\frac{1,24}{3,2} \times 100 \approx 40\% .$$

Исходя из установленной данным стандартом величины относительной погрешности, использование данного прибора невозможно.

**A.2.4.4** Вольтметр В7-27 на частоте 1000 Гц и пределе 50 В имеет погрешность  $\pm 1,5\%$ . Номинальная относительная погрешность  $\gamma_n = 1,5 \frac{50}{27} = 3\%$ .

Напряжение  $27 \text{ В} \pm 1,6 \text{ В}$  измеряется с погрешностью  $\pm 3\%$  или  $\pm 0,8 \text{ В}$ , что дает относительную погрешность измерения:

$$\frac{0,8}{3,2} \times 100 = 25\% .$$

Прибор обеспечивает измерение заданного параметра с допустимой погрешностью.

## Приложение Б (Справочное)

### Примеры выбора СИ с помощью графиков

**Б.1** Заданы значения  $\delta, \delta_T, P_{\text{до}} \%$  или  $P_{\text{но}} \%$  допуск симметричен. Требуется найти значение допустимой погрешности СИ.

Задача решается с помощью графиков В.1 – В.10 Приложения В.

*Примечание:* если одновременно заданы допустимые значения  $P_{\text{до}}$  и  $P_{\text{но}}$ , то выбор СИ производится исходя из более жесткого требования к точности СИ, полученного для этих значений  $P_{\text{до}}$  и  $P_{\text{но}}$ .

*Пример 1.*

Измеряемый параметр имеет следующие характеристики:

$$A_0 = 9,6B; \quad |\delta| = 0,18B; \quad \delta_T = 0,03B; \quad \text{допуск симметричен.}$$

Закон распределения погрешности СИ неизвестен. Заданная величина  $P_{\text{до}} \leq 0,5\%$ .

Определим отношение:

$$S = \frac{|\delta|}{2\delta_T} = \frac{0,18}{2 \times 0,03} = 3.$$

Принимаем, что погрешность СИ распределена по закону равной вероятности. Из графика рисунка В.5 имеем  $R \leq 0,3$ .

Откуда

$$\Delta_{СИ} = \frac{R \times \delta}{2} = \frac{0.3 \times 0.18}{2} = 0.027B$$

Полагая,  $\Delta_{СИ} \approx \Delta_{осн}$ , выбираем по каталогу вольтметр цифровой типа В2-35.

*Пример 2.*

Измеряемый параметр имеет следующие характеристики:

- $A_0 = 9,6B$ ;  $\delta = 0,15B$ ;  $\sigma_T = 0,03B$ ;
- допуск симметричен;
- погрешность СИ распределена по нормальному закону, заданная величина  $P_{но} \leq 0,25\%$ .

Определим отношение:

$$S = \frac{\delta}{2\sigma_T} = \frac{0,15}{2 \times 0,03} = 2,5.$$

Из графика рисунка В.1 имеем  $R \leq 0,3$ ,

Откуда

$$\Delta_{СИ} = \frac{R \times \delta}{2} = \frac{0.3 \times 0.15}{2} = 0.0225B.$$

**Б.2** Заданы значения  $\delta, \sigma_T, \Delta_{СИ}$  допуск симметричен. Требуется найти значение  $P_{ло} \%$ ,  $P_{но} \%$ .

Задача решается с помощью графиков рисунков В.1 – В.10.

*Пример 3.*

Характеристики измеряемого параметра:

$S = 3$ , допуск симметричен, погрешность СИ распределена по нормальному закону:  $\Delta_{СИ} = 0,15\delta$ .

Определим значения  $R = \frac{2\Delta_{СИ}}{\delta} = \frac{2 \times 0,15 \times \delta}{\delta} = 0,3$ .

Из графиков рисунка В.1 и рисунка В.6 имеем:

$$P_{ло} = 0,05\%, \quad P_{но} = 0,2\%.$$

*Пример 4.*

Характеристики измеряемого параметра:

$S = 3$ , допуск симметричен, закон распределения погрешности СИ неизвестен.  $\Delta_{СИ} = 0,1\delta$ .

Принимаем, что погрешность СИ распределена по закону равной вероятности.

Определим значение:

$$R = \frac{2 \times \Delta_{СИ}}{\delta} = \frac{2 \times 0,1\delta}{\delta} = 0,2.$$

Из графиков рисунка В.5 и рисунка В.4 имеем:

$$P_{ЛО} = 0,2\%, \quad P_{НО} = 0,06\%.$$

**Б.3** Заданы значения  $\delta_H$ ,  $\delta_B$ ,  $b_T$ ,  $P_{ЛО}^H\%$ ,  $P_{ЛО}^B\%$  (или  $P_{НО}^H\%$ ,  $P_{НО}^B\%$ ) допуск несимметричен или допуск односторонний ( $\delta_H$  или  $\delta_B$ ). Требуется найти значение допустимой погрешности СИ.

Шкалы  $R$ ,  $R_H$  и  $R_B$  совпадают, также совпадают кривые  $S$ ,  $S_H$ , и  $S_B$ .

*Примечание:* Для одностороннего допуска  $\delta_H$  имеем:  $P_{ЛО} = P_{ЛО}^H$ ,  $P_{НО} = P_{НО}^H$ , для одностороннего допуска  $\delta_B$  имеем:  $P_{ЛО} = P_{ЛО}^B$ ,  $P_{НО} = P_{НО}^B$ . Если одновременно заданы допустимые значения  $P_{ЛО}$  и  $P_{НО}$ , а также если  $\delta_H \neq \delta_B$ , то выбор СИ производится, исходя из более жесткого требования к точности СИ.

*Пример 5.* Характеристики измеряемого параметра:

$S_H = 2,5$ ; допуск односторонний  $\delta_H$ . Закон распределения погрешности СИ неизвестен. Заданное значение  $P_{ЛО} \leq 0,4\%$ .

Принимаем, что погрешность СИ распределена по закону равной вероятности. Из графика рисунка В.5 получаем  $R_H = 0,24$ .

Откуда  $\Delta_{СИ} \leq 0,2 \times \delta_H /$ .

**Б.4** Заданы значения  $\delta_H$ ,  $\delta_B$ ,  $b_T$ . Допуск несимметричен или допуск односторонний ( $\delta_H$  или  $\delta_B$ ). Задано значение  $\Delta_{СИ}$  выбранного СИ, а также может быть известен закон распределения погрешности СИ.

Требуется найти значение  $P_{ЛО}^H\%$ ,  $P_{ЛО}^B\%$ ,  $P_{НО}^H\%$ ,  $P_{НО}^B\%$ .

*Пример 6.* Характеристики измеряемого параметра

$S_H = 3$ ,  $S_B = 2,5$ . Закон распределения погрешности СИ неизвестен.  $\Delta_{СИ} \leq 0,3\delta_H$ .

Принимаем, что погрешность СИ распределена по закону равной вероятности.

Определим значение  $R_H = \frac{\Delta_{СИ}}{\delta_H} \leq 0,3$ .

$$\text{Значение } \Delta_{Cu} \leq 0,3\delta_H = 0,3 \frac{S_H \times \delta_B}{S_B} = 0,36\delta_B.$$

$$\text{Откуда } R_B = \frac{\Delta_{Cu}}{\delta_B} = 0,36.$$

Из графиков рисунка В.5 и рисунка В.4 имеем:

$$P_{ло}^H = 0,3\%, P_{ло}^B = 0,8\%, P_{но}^H = 0,035\%, P_{но}^B = 0,021\%.$$

$$\text{Откуда: } P_{ло} = P_{ло}^H + P_{ло}^B = 1,1\%,$$

$$P_{но} = P_{но}^H + P_{но}^B = 0,056\%.$$

*Пример 7.* Необходимо выбрать метод и СИ для контроля напряжения  $27_{-3}^{+1,5} B$ . Закон распределения входной величины – нормальный,  $\sigma_T = 1B$ . Допускаемое значение  $P_{но.доп.} \leq 0,01$ . Условия измерения – нормальные.

Параметр пронормирован в виде номинального значения и несимметричного поля допуска.

Определение нормируемой погрешности измерения:

$$\Delta H = \frac{\delta_B}{K_T}.$$

Вычислим значение  $S_B$  и  $S_H$ :

$$S_B = \frac{\delta_B}{\sigma_T} = 1,5; S_H = \frac{\delta_H}{\sigma_T} = 3.$$

Предварительно по графику рисунка В.1 определим, что значение  $R$  должно лежать в пределах от 0,1 до 0,4.

Выберем  $R = 0,2$ .

Определим по графику рисунка В.1 значения  $P_{но}$ :

$$P_{но}^B = 1,4\% = 0,014; P_{но}^H = 0,05\% = 0,00005$$

$$P_{но} = \frac{P_{но}^B}{2} + \frac{P_{но}^H}{2} = 0,007 + 0,00025 = 0,00725 (P_{но.доп.})$$

Таким образом, можно выбрать:

$$R = 0,2 \text{ или } K_T = \frac{1}{R} = 5$$

$$\Delta H = \frac{1,5}{5} = 0,3B \quad \left( \Delta_{отн.} = \frac{0,3}{27} \times 100 = 1\% \right)$$

По каталогу можно выбрать прибор В7-20

## Приложение В (Справочное)

### Перечень графиков для определения $R$ по $P_{но}$ и $P_{ло}$

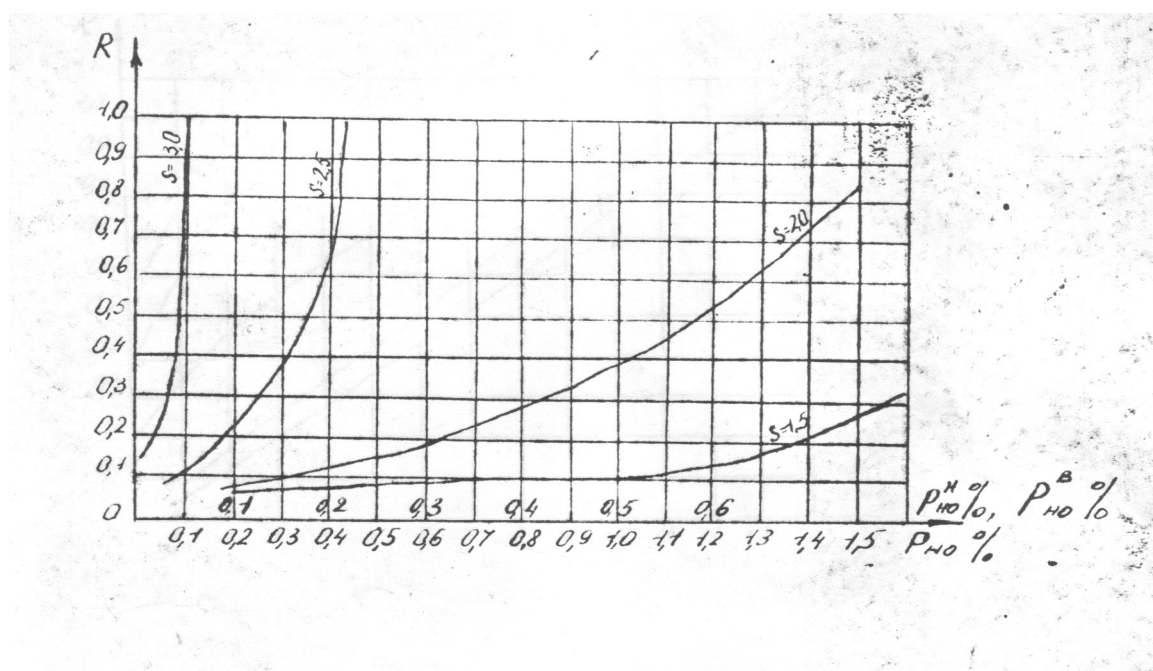


Рисунок В.1 – График для определения  $R$  по вероятностям необнаруженных отказов (распределение параметра и погрешности СИ подчиняются нормальному закону)

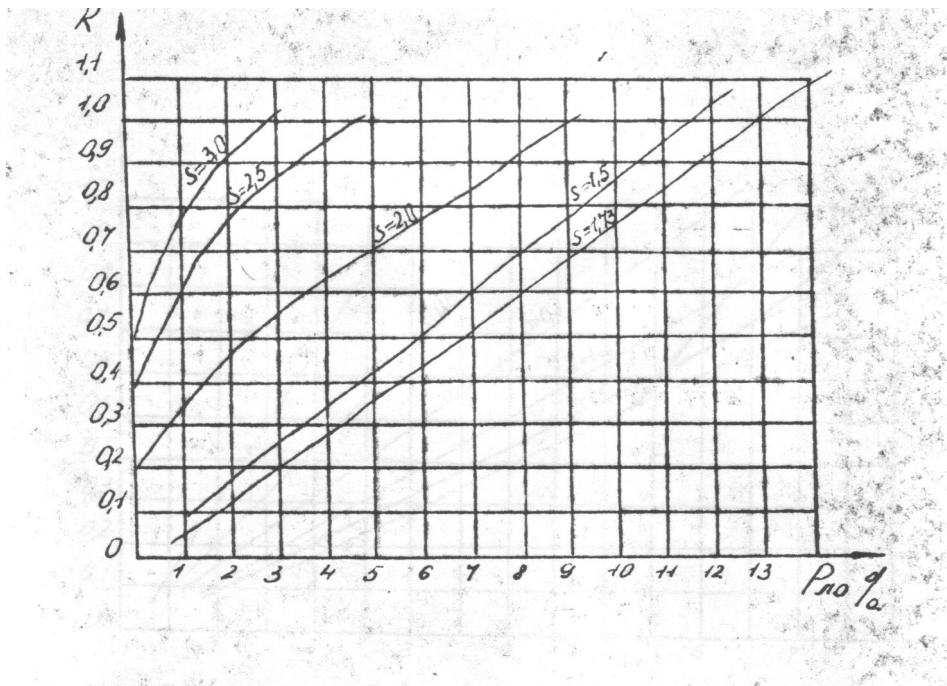


Рисунок В.2 – График для определения  $R$  по  $P_0$   
 (распределение параметра подчиняется закону равной вероятности,  
 погрешность СИ - нормальному)

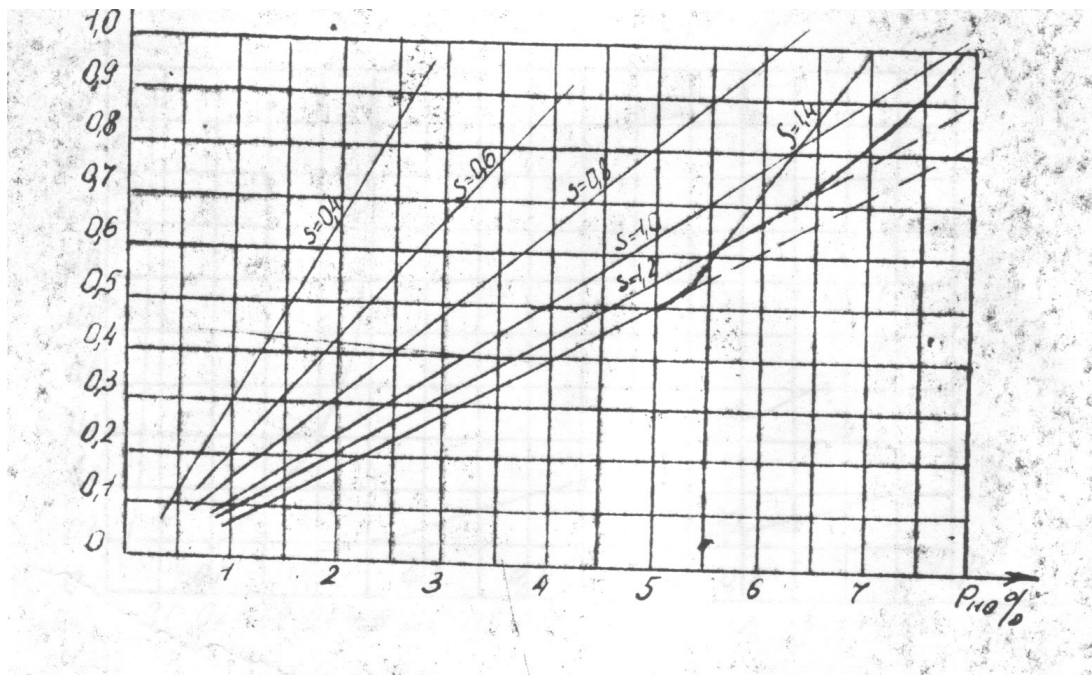


Рисунок В.3 – График для определения  $R$  по  $P_0$   
 (распределение параметра подчиняется закону равной вероятности,  
 погрешность СИ - нормальному)

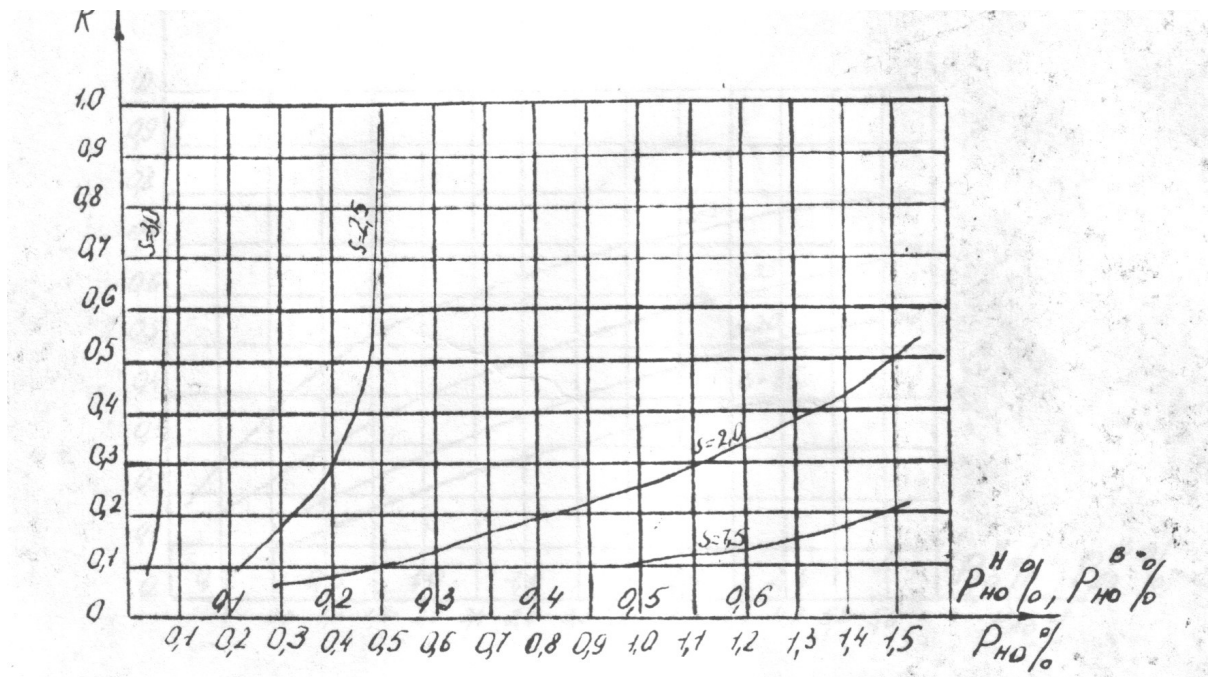


Рисунок В.4 – График для определения  $R$  по  $P_{нo}$   
 (распределение параметра подчиняется нормальному закону, погрешность СИ - закону равной вероятности )

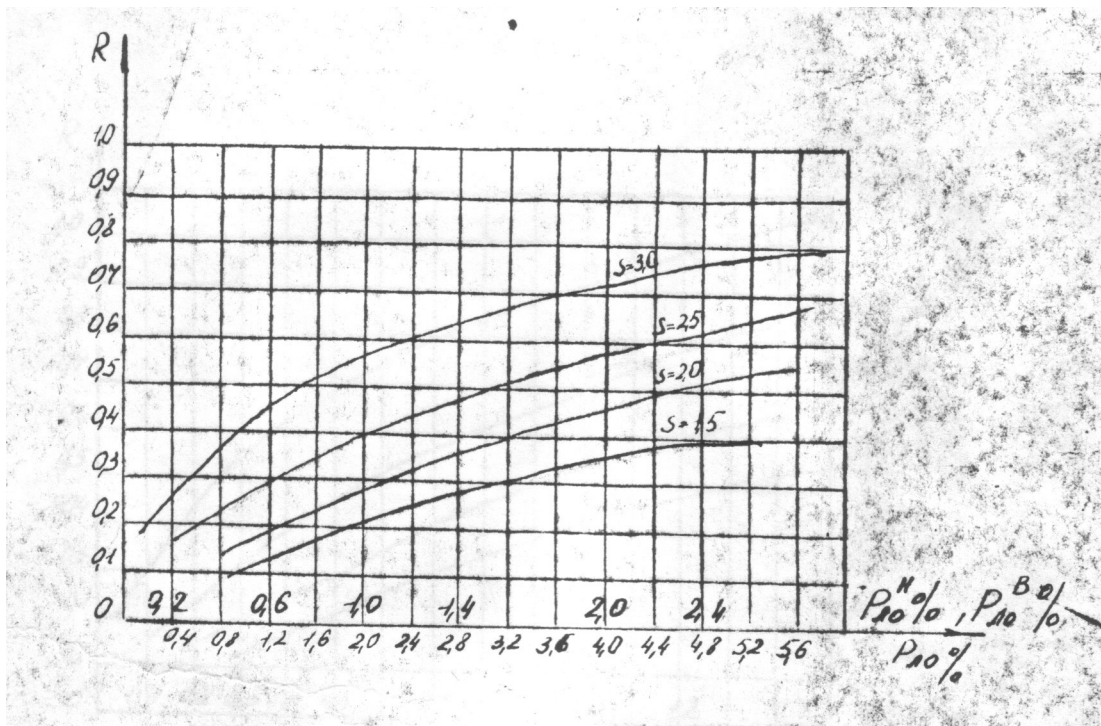


Рисунок В.5 – График для определения  $R$  по  $P_{ло}$   
 (распределение параметра подчиняется нормальному закону, погрешность СИ - закону равной вероятности )



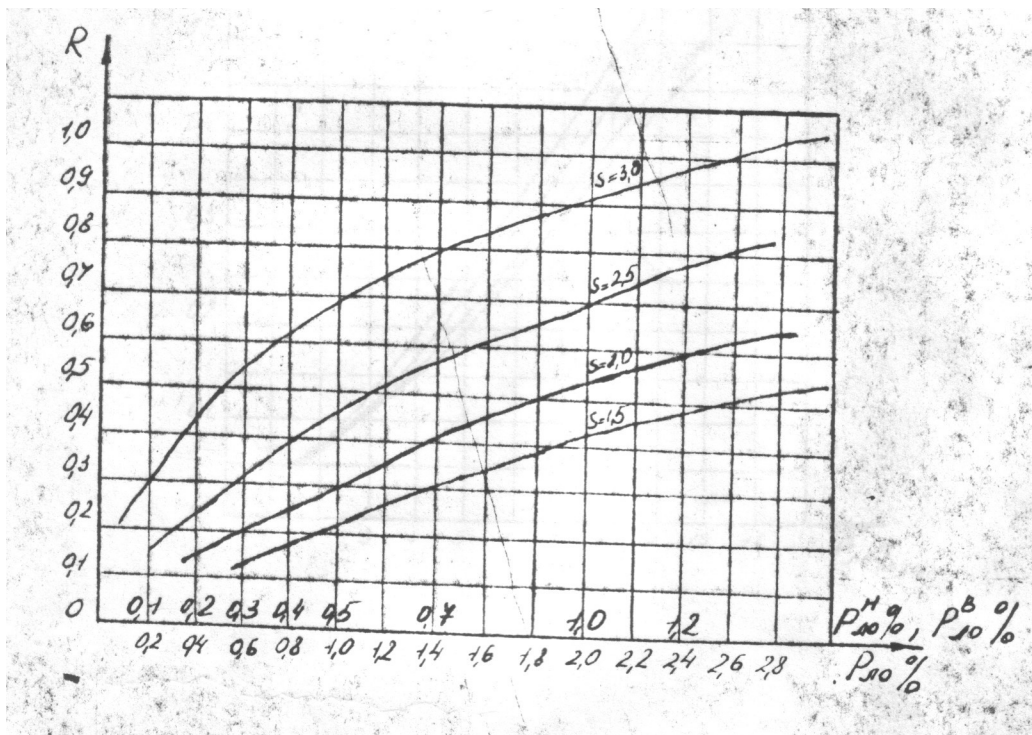


Рисунок В.6 – График для определения  $R$  по  $P_{ло}$   
 (распределение параметра и погрешности СИ - подчиняется  
 нормальному закону)

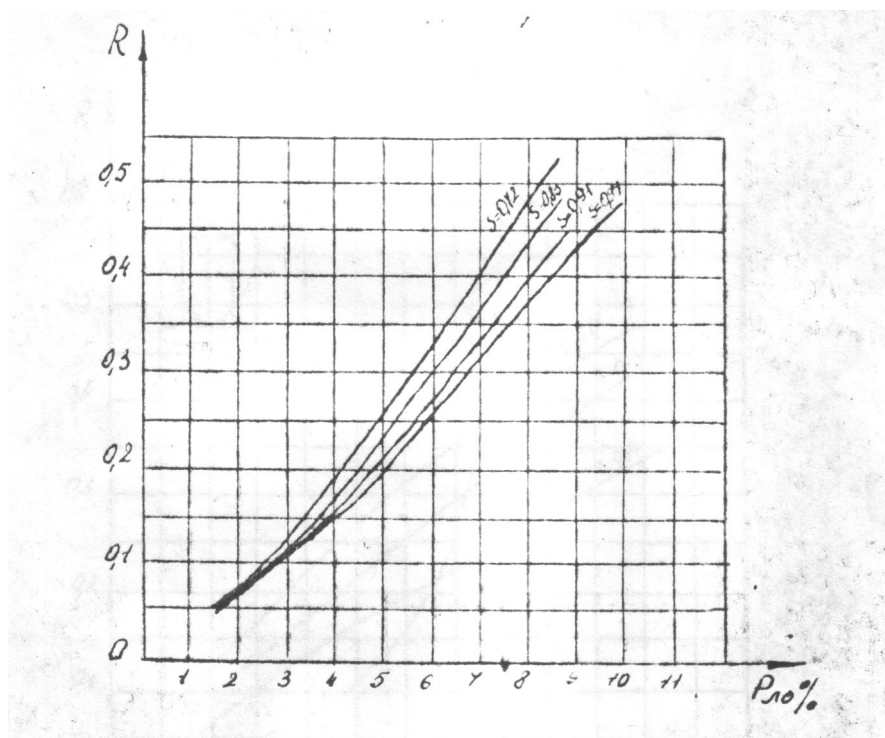


Рисунок В.7 – График для определения  $R$  по  $P_{ло}$   
 (распределение параметра по арксинусному закону,  
 погрешности СИ - по нормальному)

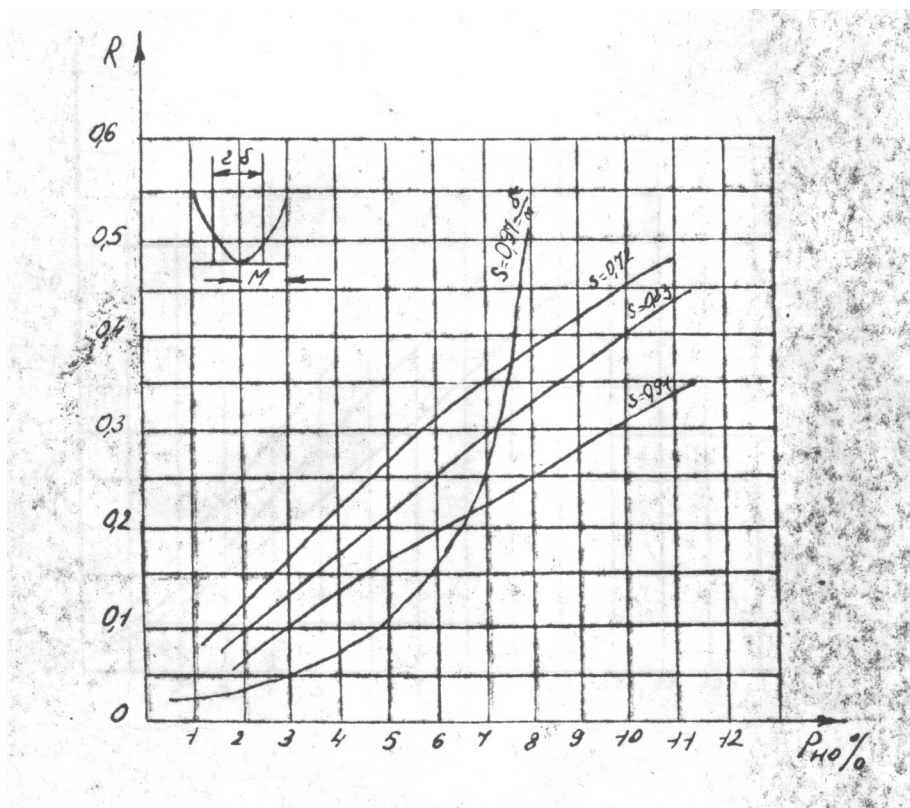


Рисунок В.8 – График для определения  $R$  по  $P_{no}$   
 (распределение параметра по арккосинусному закону,  
 погрешности СИ - по нормальному)

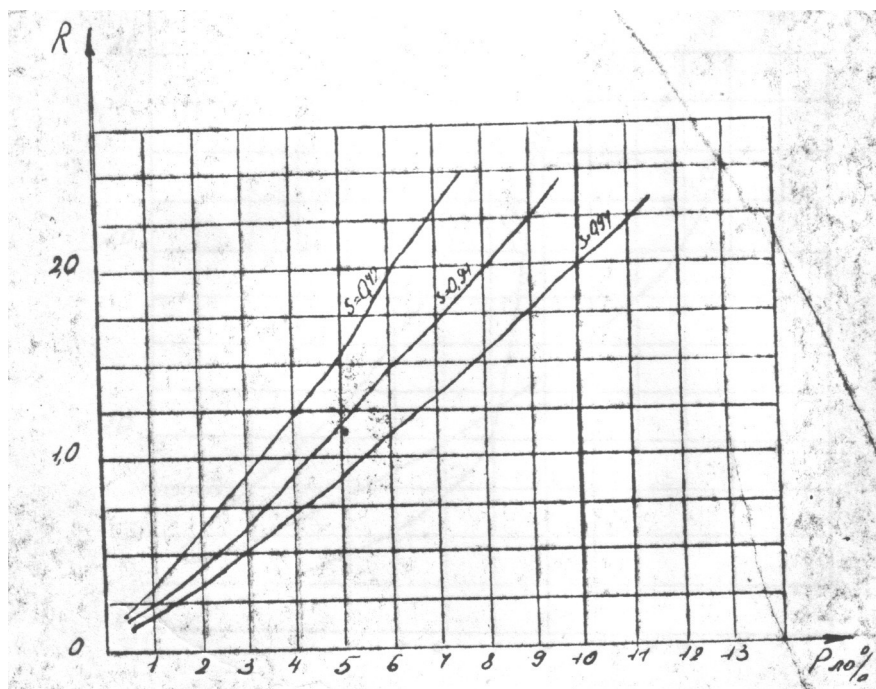


Рисунок В.9 – График для определения  $R$  по  $P_{lo}$   
 (распределение параметра по арккосинусному закону,  
 погрешности СИ - по равновероятному)

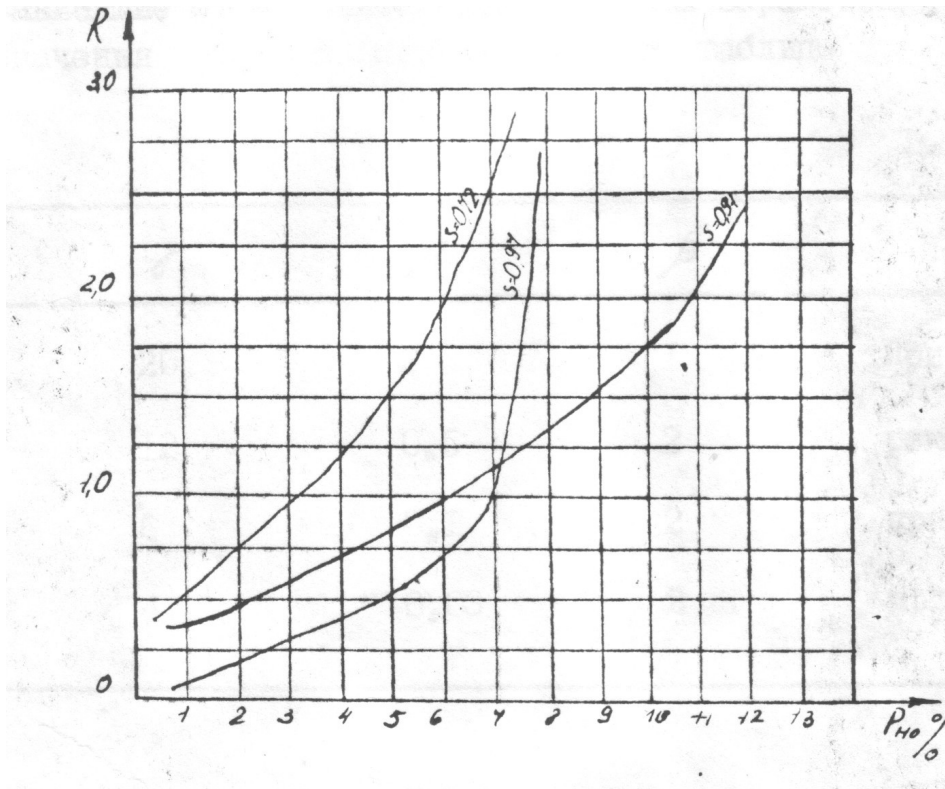


Рисунок В.10 – График для определения  $R$  по  $P_{но}$  (распределение параметра по арккосинусному закону, погрешности СИ - по равновероятному)

### Приложение Г (Справочное)

#### Приближенные формулы оценки $P_{ло}$ и $P_{но}$

Если параметр изделия распределен по нормальному закону со СКО -  $\sigma_T$ , допуском  $\delta$ , допуск – симметричен, а погрешность СИ -  $\Delta_{СИ}$ , то в интервалах  $0,2 \leq R \leq 1$  и  $2 \leq S \leq 4$  можно дать приближенную оценку  $P_{но}$  и  $P_{ло}$  по формулам:

$$P_{ло}\% \approx \gamma \times R^2$$

$$P_{но}\% \approx \mu \left( 1 - \frac{(1-R)^2}{\beta} \right),$$

где  $R = \frac{2\Delta_{СИ}}{\delta}$ .

А значение  $\gamma, \mu, \beta$  - коэффициенты, зависящие от относительного допуска параметра  $S = \frac{\delta}{2\sigma_T}$ .

Значения  $\gamma, \mu, \beta$  определяются по таблице Г.4.

Таблица Г.4

$S$	$\gamma$	$\mu$	$\beta$	Примечание
2	20	2	1	При $S \geq 4$ рекомендуется при выборе СИ принимать $S = 4$
2,5	12	0,5	2	
3	6	0,1	2	
4	4	0,03	2	

## Приложение Д (Справочное)

### Термины и определения

**Измерение** – нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств по (ГОСТ 16263-70).

**Средство измерения (СИ)** – техническое средство, используемое при измерениях и имеющее нормированные метрологические характеристики по (ГОСТ 16263-70).

**Прямые измерения** – измерения, при которых искомое значение величины находят непосредственно из опытных данных по (ГОСТ 16263-70).

**Косвенные измерения** – измерения, при которых искомое значение величины находят на основании известной зависимости между этой величиной и величинами, подвергаемыми прямым измерениям по (ГОСТ 16263-70).

**Нестандартизованные средства измерений (НСИ)** – средства измерений, изготовленные в единичном экземпляре, не предназначенные для серийного или массового производства и не подвергаемые государственным испытаниям в соответствии с ГОСТ 8.001-80.

**Принципы измерений** – совокупность физических явлений, на которых основано измерение по (ГОСТ 16263-70).

**Метод измерений** - совокупность приемов использования принципов и средств измерений по (ГОСТ 16263-70).

**Алгоритм измерений** – алгоритм операций подготовки и выполнения измерений.

**Методика выполнения измерений (МВИ)** - описание условий и порядка проведения измерений, в результате которых устанавливается точность заданных параметров при допустимых пределах погрешности измеряемых параметров.

**Стандартизованные методики выполнения измерений** – методики выполнения измерений, оформленные в виде государственного, отраслевого стандарта (документа) или стандарта предприятия, а также методики выполнения измерений, разработанные на основе и в соответствии с государственными или отраслевыми стандартами.

**Аттестованная методика выполнения измерений** – МВИ, разработанная для применения на предприятии, отличающаяся от стандартизованной и прошедшая метрологическую аттестацию в соответствии с ГОСТ 8 010-72.

**Контроль параметра изделия** – определение соответствия значения параметра установленным техническим требованием.

**Средство контроля** – изделие или материал, применяемый для осуществления контроля.

**Погрешность измерения** – алгебраическая разность между полученным при измерении значением измеряемой величины и значением, выражающим истинный размер этой величины.

**Систематическая погрешность измерения** – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины по (ГОСТ 16263-70).

**Случайная погрешность измерения** – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины. (ГОСТ 16263-70).

**Абсолютная погрешность измерительного прибора** – разность между показателями прибора и истинным значением измеряемой величины (ГОСТ 16263-70).

**Относительная погрешность измерительного прибора** – отношение абсолютной погрешности измерительного прибора к истинному значению измеряемой им величины (ГОСТ 16263-70).

**Приведенная погрешность измерительного прибора** – отношение погрешности измерительного прибора к нормирующему значению по (ГОСТ 16263-70).

**Основная погрешность СИ** – погрешность СИ, используемого в нормальных условиях по (ГОСТ 16263-70).

**Дополнительная погрешность СИ** – изменение погрешности СИ в следствии изменения ее действительного значения, вызванного отклонением одной из влияющих величин от нормального значения или выходом за пределы нормальной области значений по (ГОСТ 16263-70).

**Класс точности СИ** – характеристика СИ, определяемая пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами СИ, влияющими на точность, значения которых устанавливаются в стандартах на отдельные виды СИ.

**Вероятность ложного отказа ( $P_{ло}$ )** – вероятность заключения «не годен» при контроле параметра, значение которого в действительности соответствует допуску.

**Вероятность обнаруженного отказа ( $P_{но}$ )** – вероятность заключения «годен» при контроле параметра, значение которого в действительности не соответствует допуску.

**Допуск** – разность между наибольшими и наименьшими предельными значениями размера (параметра).

**Номинальный размер (значение)** – размер (значение), относительно которого определяются предельные размеры (значения) и который служит началом отсчета отклонения.

**Предельные размеры (значения)** – два предельно допустимых размера (значения) между которыми должен находиться или находится действительный размер (значение).

**Верхнее предельное отклонение** – алгебраическая разность между наибольшим предельным и номинальным размерами.

**Нижнее предельное отклонение** – алгебраическая разница между наименьшим предельным и номинальным размерами.

**Поле допуска** – поле, ограниченное верхним и нижним предельным отклонением. Определяется величиной допуска и его положением относительно номинального размера.

**Симметричное поле допуска** – поле допуска, когда верхнее и нижнее отклонения равны по модулю между собой.

**Одностороннее поле допуска** – поле допуска, когда одно из отклонений равно нулю или верхнее или нижнее отклонения имеют один знак.

**Несимметричное поле допуска** – поле допуска, когда верхнее и нижнее отклонения не равны по модулю между собой и имеют разный знак.

**Неопределенное поле допуска** – поле допуска, когда не нормируется номинальное значение и допуск, а нормируется лишь одно из предельно допустимых значений, верхнее или нижнее.

**Нормируемая погрешность измерения** – значение предельно допустимой погрешности измерения, которое обеспечивает достоверность контроля.

**Достоверность измерения** – вероятность того, что полученный результат измерения не отличается от истинного значения более, чем на величину допустимой погрешности измерения.

**Показатели точности измерений** – характеристики погрешности измерений, нормированные в соответствии с МИ 1317-86 (например, интервал, в котором с установленной вероятностью находится суммарная погрешность измерения).

**Инструментальные погрешности измерения** – погрешности из-за несовершенства средств измерений. Обычно различают основную погрешность средств измерений – погрешность в условиях, принятых за нормальные и дополнительные погрешности, т.е. погрешности, обусловленные отклонением влияющих величин от их нормальных значений.

**Погрешность отсчитывания** – составляющая погрешности измерения, происходящая от недостаточно точного отсчитывания показаний средств измерений.

**Погрешность интерполяции при отсчитывании** – составляющая погрешности отсчитывания, происходящая от недостаточно точного

оценивания на глаз доли деления шкалы, соответствующей положению указателя.

**Личные погрешности** – индивидуальные особенности лица, выполняющего измерения, обуславливают появление индивидуальных, свойственных данному лицу погрешностей. К ним относят погрешности из-за неправильного отсчитывания десятых долей деления шкалы прибора, ассиметричной установки штриха оптического индикатора между двумя рисками и т.д.