

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ДЕПАРТАМЕНТ НАУЧНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОЛИТИКИ И ОБРАЗОВАНИЯ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«КРАСНОЯРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

**Институт инженерных систем и энергетики
Кафедра «Теоретические основы электротехники»**

Часть 1

ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Курс лекций по дисциплине

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

для студентов всех форм обучения

**Направление подготовки:
4.35.03.06 «Агроинженерия»**

**Профиль:
Электрооборудование и электротехнологии в АПК**

Красноярск 2017

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	5
1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ.....	6
1.1. Основные понятия и определения метрологии	6
1.2. Основные положения теории погрешностей.....	10
1.2.1. Систематические погрешности.....	12
1.2.2. Случайные погрешности	16
1.3. Математическая обработка результатов измерений.....	29
1.3.1. Правила суммирования составляющих погрешности	29
1.3.2. Правила округления значения погрешности и записи результата измерений.....	33
1.3.3. Обработка результатов прямых обыкновенных измерений	36
1.3.4. Обработка результатов прямых многократных измерений	42
1.3.5. Обработка результатов косвенных измерений.....	48
2. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ	53
2.1. Система государственного надзора за СИ	54
2.2. Система воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров рабочим средствам	56
Приложение 1	60
ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	60

ПРЕДИСЛОВИЕ

Измерение - единственный способ получения количественной информации о величинах, характеризующих те или иные явления и процессы. Большинство показателей, характеризующих качество изделий и различных видов продукции, устанавливаются путем соответствующих измерений. Измерения настолько привычны и интуитивно понятны, что, казалось бы, вообще нет необходимости выявлять те положения, которые лежат в их основе. Однако не менее очевиден и тот факт, что измерения параметров одного и того же объекта или явления проведенные в разных местах, в разное время и разными людьми должны быть сопоставимы. Последнее возможно, если при проведении измерений повсеместно будут выполняться определенные условия. Эти условия предполагают единообразие единиц измерения физических величин, единообразие методов измерений и средств, с помощью которых они осуществляются и единообразие способов представления результатов.

Все эти условия обеспечиваются действием в стране Государственной системы обеспечения единства измерений. Метрология, как наука об измерениях, является научной основой действия этой системы.

В учебном пособии кратко изложены основные положения метрологии. С учетом законодательного характера многих положений метрологии основные термины и определения, алгоритмы обработки опытных данных различных видов измерений и способы представления результатов в настоящем пособии даны в соответствии с действующими стандартами, на которых в соответствующих местах сделаны ссылки. Более подробно теоретические вопросы метрологии и теоретическое обоснование алгоритмов обработки результатов измерений можно найти в литературе, список которой приводится в конце пособия, и в соответствующих стандартах. В качестве приложений в данном пособии приведены список основных терминов и определений метрологии, который необходимо усвоить при изучении дисциплины, и таблицы, которые используются при статистической обработке результатов измерений.

Учебное пособие составлено в соответствии с программой дисциплины “Метрология” для студентов специальности “Промышленная электроника” ТУСУРа и представляет собой краткий конспект лекций по дисциплине.

Настоящее пособие является составной частью программно-методических средств дистанционной формы изучения данной дисциплины.

1. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИИ

Слово *метрология* образованно из двух греческих слов: *метрон* - мера и *логос* - учение, и в буквальнойности перевода означает - *учение о мерах*.

В современном понимании *это наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности*. К основным направлениям метрологии относятся: общая теория измерений; единицы физических величин (ФВ) и их системы; методы и средства измерений (СИ); методы определения точности измерений; основы обеспечения единства измерений и единообразия СИ; эталоны и образцовые СИ; методы передачи размеров единиц от эталонов и образцовых средств измерений рабочим СИ [1, 2].

Решение многих проблем метрологии является настолько важным для государства, что в большинстве стран мира мероприятия по обеспечению единства и требуемой точности измерений *установлены законодательно*. Поэтому один из разделов метрологии называется законодательной метрологией. Законодательный характер метрологии обуславливает стандартизацию её терминов и определений.

1.1. Основные понятия и определения метрологии

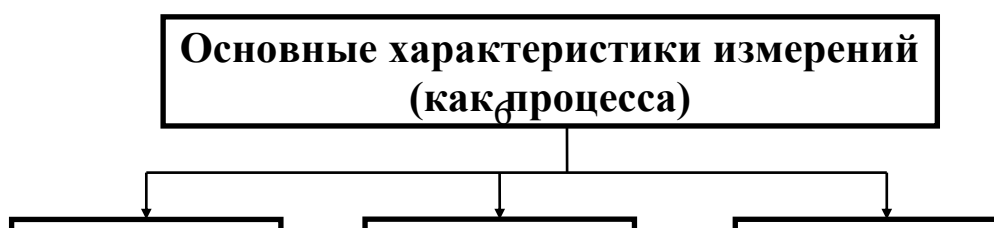
Основные термины и определения метрологии, которые необходимо усвоить при изучении курса, приведены в приложении 1. Термины и определения даны в соответствии с ГОСТ 16263-70 “Метрология. Термины и определения”. Одним из основных понятий метрологии является понятие *измерения*. ГОСТ дает следующее определение этого понятия [3, 10]:

Измерение - нахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств. В этом определении отражены три главных признака понятия “измерение”:

- 1) измерять можно свойства реально существующих объектов познания (физические величины);
- 2) измерение требует проведения опытов (теоретические рассуждения и расчет не могут заменить эксперимента);
- 3) для проведения опыта требуются *специальные технические средства - средства измерений*.

Таким образом измерение - информационный процесс, результатом которого является получение *измерительной информации* (количественной информации об измеряемых физических величинах).

Основные характеристики измерения, как информационного процесса, представлены в виде таблицы на рисунке 1.1. *Определение всех понятий, приведенных на рисунке 1.1* (а так же и на всех последующих подобных рисунках данного методического пособия) *даны в приложении 1*.



Измерения, как экспериментальные процедуры определения значения измеряемых величин, весьма разнообразны. В зависимости от признака, положенного в основу классификации, измерения могут быть классифицированы:

- по характеристике точности - *равноточечные, неравноточечные*;
- по числу измерений в ряду измерений - *однократные, многократные*;
- по отношению к изменению измеряемой величины - *статические, динамические*;
- по метрологическому назначению - *технические, метрологические*;
- по выражению результата измерений - *абсолютные* (результаты выражены в единицах измеряемой ФВ), *относительные*;
- по общим приемам получения результата (по способу обработки экспериментальных данных для нахождения результата) все измерения делятся на четыре вида - *прямые, косвенные, совместные, совокупные* (см. приложение 1).

Для реализации любого вида измерений необходимы специальные технические средства - *средства измерений*. Для того, чтобы можно было ориентироваться в большом многообразии СИ их классифицируют по разным признакам. Наиболее широко используются две классификации: 1) по функциональному назначению; 2) по виду измеряемой величины.

Классификация по функциональному назначению представлена в виде таблицы на рисунке 1.2., а классификация по виду измеряемой величины - в приложении 2.



Рисунок 1.2

Каждое СИ обладает своими специфическими свойствами. Даже СИ одного вида могут существенно различаться по своим характеристикам. Вместе с тем средства измерений имеют ряд общих свойств, которые позволяют сопоставлять их между собой при выборе наиболее подходящего СИ для конкретного измерительного эксперимента. Совокупность характеристик СИ, **которая оказывает влияние на результаты и погрешности измерений**, называется **метрологическими характеристиками средств измерений**.

Все другие технические характеристики СИ называют неметрологическими. Все метрологические характеристики СИ **нормируют**. **Нормировать** какую либо метрологическую характеристику это **значит указать ее номинальное значение и допускаемые отклонения от него**. Для каждого вида СИ нормируется свой комплекс метрологических характеристик, который указывается в нормативно-технической документации (в техническом описании СИ). Комплекс метрологических характеристик конкретных видов и типов СИ **должен быть достаточен для определения результатов измерений и расчетной оценки с требуемой точностью характеристик инструментальных составляющих погрешностей** при проведении измерений в реальных условиях применения. Общий перечень нормируемых метрологических характеристик СИ, формы их представления и способы нормирования установлены в ГОСТ 8.009-84 [10].

Все метрологические характеристики СИ можно разделить на 6 групп:

- 1) характеристики, предназначенные для определения результатов измерений;
- 2) характеристики погрешностей;
- 3) характеристики чувствительности к влияющим величинам;
- 4) динамические характеристики;
- 5) характеристики, отражающие взаимодействие средства измерений и объекта измерений;
- 6) информационные параметры выходного сигнала.

В основу любого измерения положено некоторое физическое явление (или их совокупность) **составляющие принцип измерения**. Но принцип измерения и соответствующие технические средства могут использоваться по

разному для реализации измерительного эксперимента. **В зависимости от совокупности приемов использования принципа и средств измерений различают методы измерений.** Отличительным признаком классификации методов измерений является **способ использования меры** в измерительном эксперименте. Классификация методов измерений представлена в виде таблицы на рисунке 1.3.

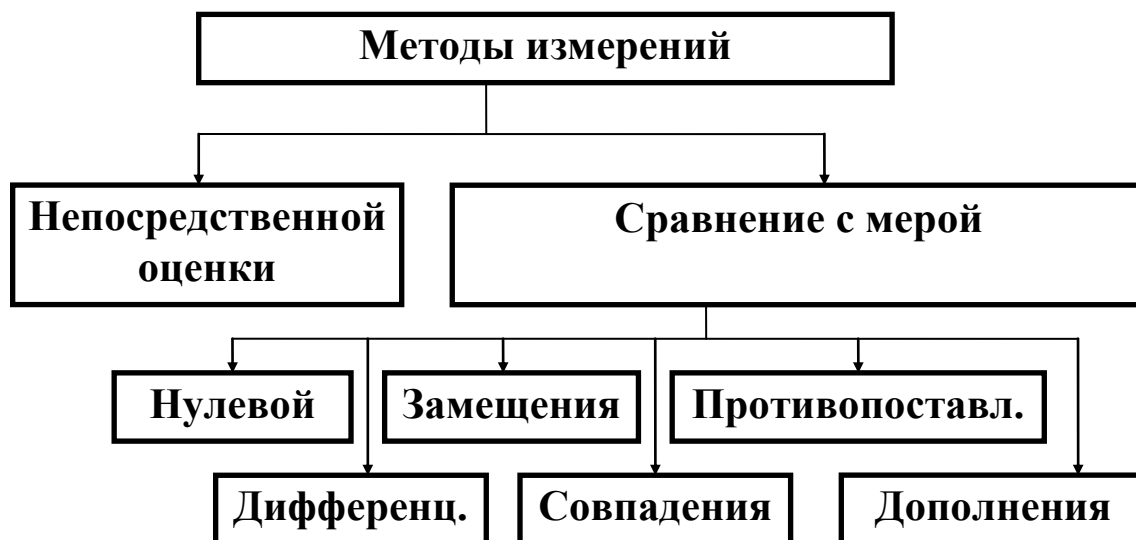


Рисунок 1.3.

Во всех методах сравнения *мера принимает непосредственное участие* в измерительном эксперименте. По этой причине все методы сравнения обеспечивают, как правило, более высокую точность, чем метод непосредственной оценки.

1.2. Основные положения теории погрешностей

Теория погрешностей строится на двух постулатах метрологии. Первый постулат утверждает, что существует *истинное значение измеряемой величины* такое, которое *идеальным образом* отражает в количественном и качественном отношениях соответствующую физическую величину. Это понятие соотносимо с понятием абсолютной истины в философии и необходимо как теоретическая основа развития теории измерений.

Размер (значение) физической величины мы получаем, как правило, в результате измерения. Измерение - нахождение значения ФВ опытным путем с помощью специальных технических средств. Любой измерительный эксперимент можно разделить на 4 этапа:

- 1) принятие модели объекта;
- 2) выбор метода измерений;
- 3) выбор конкретных средств измерений;
- 4) проведение измерительного эксперимента.

Уже на этапе принятия модели объекта делаются, как правило, некоторые допущения, упрощения модели, пренебрежение малыми величинами. Кроме того несовершенство методов измерений и технических средств, воздействие внешних дестабилизирующих факторов и т.п. не позволяют получить при измерении истинное значение измеряемой ФВ. Второй постулат

утверждает, что *погрешности измерений неизбежны*. Если X - измеряемая величина, то погрешность может быть записана в виде:

$$\Delta X = X_{изм.} - X_{ист.} \quad (1.1)$$

где ΔX - абсолютная погрешность измерения;
 $X_{изм.}$ - результат, полученный при измерении;
 $X_{ист.}$ - истинное значение измеряемой величины.

Воспользоваться выражением (1.1) для определения погрешности невозможно, т.к. $X_{ист.}$ остается неизвестным. В практике измерений вместо $X_{ист.}$ используется другая величина, которая называется *действительным значением измеряемой ФВ* - $X_{дст}$. Действительное значение ФВ - значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что для поставленной измерительной задачи может его заменить (это понятие соотносимо с понятием относительной истины в философии).

За действительное значение ФВ обычно принимается среднее арифметическое из ряда значений, полученных при равноточных измерениях одной и той же ФВ.

При проверке средств измерений действительным значением является значение образцовой меры или показания образцового средства измерений.

С использованием понятия действительного значения ФВ выражение (1.1) может быть записано в виде:

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

По способу выражения различают:

Абсолютную погрешность ΔX (1.2), выражаемую в единицах измеряемой ФВ;

Относительную погрешность δ_x

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X_{дст}} ; \quad (1.3)$$

Приведенную погрешность γ_x

$$\gamma_x = \frac{\Delta X}{N}, \quad (1.4)$$

где N - некоторая нормирующая величина.

Относительная и приведенная погрешности могут быть выражены безразмерным числом в соответствии с (1.3) и (1.4), или в %, если полученное безразмерное число умножить на 100, т.е.

$$\delta_x [\%] = \frac{\Delta X}{X_{дст}} * 100\%.$$

Величина, обратная относительной погрешности, называется точностью измерений: $T = \frac{1}{\delta_x}$. **Точность - одна из характеристик качества измерений** (см. рис. 1.1).

Но в повседневной измерительной практике точность, как количественная характеристика качества измерений, используется очень редко. Более широко для характеристики качества проведенных измерений используется относительная погрешность δ_x , выражаемая в процентах.

По характеру зависимости от измеряемой величины X погрешности можно разделить на **аддитивные** (не зависящие от X , т.е. $\Delta X = const$ для любых значений X в пределах диапазона измерений) и **мультипликативные** (линейно или нелинейно зависящие от X , т.е. в этом случае $\Delta X = f(X)$).

По характеру проявления погрешности делятся на **систематические** ($\Delta X_{ст.}$), **случайные** ($\Delta X_{сл.}$) и **грубые** ($\Delta X_{гр.}$).

Величина систематической погрешности $\Delta X_{ст.}$ характеризует второй показатель качества измерений - **правильность** полученного результата. Чем меньше величина $\Delta X_{ст.}$, тем правильнее полученный результат.

Величина случайной погрешности $\Delta X_{сл.}$ характеризует третий показатель качества измерений - **сходимость** результатов при повторных измерениях одного и того же значения измеряемой ФВ.

Разделение погрешностей на систематические и случайные имеет большое значение при разработке методов уменьшения погрешностей, но не всегда легко осуществимо. Иногда в зависимости от способа выполнения одного и того же измерения погрешность результата может быть как систематической, так и случайной.

1.2.1. Систематические погрешности

Систематические погрешности при измерениях вызываются разными причинами. Источниками систематических погрешностей могут быть все три компонента измерения: метод измерения, средства измерений и сам экспериментатор. По причине возникновения систематические погрешности классифицируются в соответствии с таблицей, приведенной на рисунке 1.4

Методические погрешности возникают из-за несовершенства метода измерений, ограниченной точности формул, используемых для описания явлений, положенных в основу измерения, из-за влияния СИ на объект, свойства которого измеряются. Часто организуя измерение **вынуждены** измерять не ту величину, которая должна быть измерена, а некоторую другую, близкую, **но не равную ей**. Примерами такой методической погрешности могут служить погрешность измерения напряжения вольтметром с конечным вход-

ным сопротивлением или погрешность измерения тока амперметром с ненулевым внутренним сопротивлением.

Отличительной особенностью методической погрешности является то обстоятельство, что *они не могут быть указаны в паспорте прибора, а должны оцениваться* самим экспериментатором. Одно и то же СИ при измерениях свойств одного объекта может дать пренебрежимо малую методическую погрешность, а при измерении свойств другого - недопустимо большую, лишаящую измерение всякого смысла. Поэтому оценивая величину методической погрешности экспериментатор должен четко различать *фактически измеряемую* величину от той, *которая подлежит измерению*.

Инструментальные погрешности вызываются несовершенством СИ. Классическим примером ее может служить погрешность измерительного прибора, вызванная неточностью градуировки шкалы или погрешность резистивного делителя напряжения из-за неточной подгонки резисторов и т.п. Эти погрешности определяются и указываются в паспорте СИ (основная погрешность СИ).

Разновидностью инструментальных погрешностей являются *установочные погрешности*, которые обусловлены расположением СИ (правильным или неправильным) к их взаимным влиянием. Эти погрешности не могут быть указаны в паспорте и должны оцениваться и устраняться экспериментатором в процессе проведения измерений.

В отдельную группу принято выделять *систематические погрешности, обусловленные отклонением внешних условий* эксплуатации СИ от нормальных, оговоренных в паспорте. Эти погрешности также зависят от несовершенства СИ, но проявляются под воздействием изменения влияющих величин (температуры, питающего напряжения и т.д.), информационных параметров входного сигнала (например, частоты или содержания гармоник при измерении напряжения переменного тока) и под влиянием изменения самой измеряемой величины в процессе измерения (динамические погрешности). Степень влияния каждой влияющей величины определяется и указывается в паспорте СИ (дополнительные погрешности), что позволяет учесть их в реальном измерительном эксперименте.

Личные (субъективные) или *погрешности отсчитывания показаний* зависят от личности оператора. Она проявляется в том, что показания измеряемого прибора (например, вольтметра) 77 В один оператор фиксирует как 77.0 В, другой - как 77.1 В, а третий - как 76.9 В и т.д. Очевидно, что эти погрешности также не могут быть указаны в паспорте на СИ и уменьшаются повышением квалификации оператора и совершенствованием отсчетных устройств.

Следует отметить, что все систематические погрешности могут иметь малую случайную составляющую (например, случайная инструментальная погрешность, вызванная трением в опорах измерительного механизма и т.п.), *но они, обычно, не выделяются*. Вызвано это тем, что *систематические по-*

грешности оцениваются по составляющим, а случайная погрешность измерения *оценивается*, как правило, по экспериментальным данным и *сразу* *вся*.

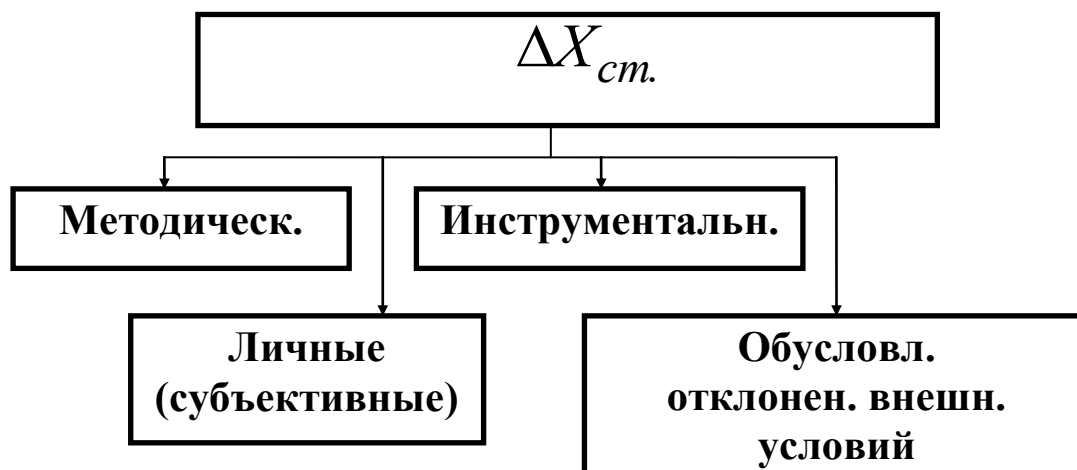


Рисунок 1.4.

Систематические погрешности искажают результат измерения, поэтому при измерениях необходимо предпринимать все меры к тому, чтобы выявить и исключить (или уменьшить) систематические погрешности.

Выявление и уменьшение систематических погрешностей сложная задача и требует высокой квалификации экспериментатора. Особую сложность представляет обнаружение постоянной систематической погрешности. Практически единственный способ их обнаружения - поверка рабочего СИ по образцовым мерам или сличение его показаний с показаниями образцового СИ.

В большинстве областей измерений важнейшие источники систематических погрешностей изучены и разработаны методики измерений, исключающие возникновение этих погрешностей или устраняющие их влияние на результат. Устранение систематической погрешности в этом случае осуществляется не путем математической обработки экспериментальных данных, а применением соответствующих методов и способов проведения измерений. Примерами методов измерения, позволяющих исключить постоянную систематическую погрешность в процессе измерения могут служить метод замещения и метод противопоставления. К специальным способам проведения измерений, позволяющим исключить систематическую погрешность, относят способ компенсации постоянной систематической погрешности по знаку и способ симметричных наблюдений, при устранении линейно изменяющейся систематической погрешности.

Изменяющуюся систематическую погрешность можно обнаружить и уменьшить и после проведения измерения путем несложной предварительной обработки опытных данных (но результатов для такой обработки должно быть достаточно много).

Исключить (уменьшить) систематическую погрешность можно путем внесения поправок в результат измерения. Поправка (X_n) - величина абсолютной систематической погрешности (1.2), взятая с обратным знаком, т.е.

$$X_n = -\Delta X_{ст.}$$

Если при измерениях систематическая погрешность имеет место, то полученный в процессе измерения результат, содержащий систематическую погрешность, называется **неисправленным результатом** ($X_{изм.}^*$). Для исправления полученного результата надо внести поправку. Поправка **прибавляется** к неисправленному результату измерений

$$X_{изм.} = X_{изм.}^* + X_n.$$

Далеко не всегда внесением поправки можно полностью исключить систематическую погрешность. Часть систематической погрешности, которая остается после внесения поправки, называется **неисключенным остатком систематической погрешности (НСП)**. Неисключенную систематическую погрешность (или НСП) принято обозначать греческой буквой Θ .

Часто общая систематическая погрешность результата измерений складывается из нескольких составляющих (например, методической и инструментальной) или включает все составляющие (см. рис. 1.4). При этом очень редко можно определить систематическую погрешность целиком. Чаще можно бывает **оценить величину отдельной составляющей систематической погрешности** $\Delta X_{ст.i}$, вызываемой какой-либо отдельной причиной. Если таких составляющих несколько, то влияние каждой из них на результат измерений уменьшается введением соответствующей поправки $X_{n.i} = -\Delta X_{ст.i}$, но следует помнить, что каждый раз при исправлении результата остается (как правило) неисключенный остаток соответствующей составляющей систематической погрешности Θ_i . Для того, чтобы представить результат измерений с указанием величины систематической погрешности, необходимо уметь суммировать неисключенные остатки отдельных составляющих для определения неисключенного остатка общей систематической погрешности Θ_{Σ} . Правила суммирования составляющих при определении общей погрешности будут рассмотрены ниже.

Грубые погрешности также искажают результат измерения, но в отличие от систематических для однократных измерений выявить грубые погрешности **невозможно**. Определить содержит ли данный конкретный результат измерений грубую погрешность позволяют статистические методы обработки результатов измерений, но для этого необходимо проделать многократные (статистические) измерения одного и того же значения измеряемой ФВ.

По этой причине грубые погрешности включаются в состав случайной погрешности $\Delta X_{сл.}$.

1.2.2. Случайные погрешности

Случайные погрешности вызываются большой совокупностью причин, остающихся при проведении измерений неизвестными. Случайные погрешности **неизбежны и неустранимы**. Случайная погрешность, как и всякая случайная величина, наиболее полно характеризуется законом распределения. В практике встречаются различные законы распределения случайных погрешностей. Наиболее часто приходится иметь дело с нормальным законом распределения, но встречаются также: равномерный закон распределения; треугольный закон (закон Симпсона) и др. [6, 8].

Таким образом, погрешность результата измерений в общем случае включает систематическую и случайную составляющие

$$\Delta X = \Delta X_{см.} + \Delta X_{сл.} \quad (1.5)$$

(грубая погрешность $\Delta X_{гр.}$ входит в состав случайной погрешности).

В выражении (1.5) перед составляющими погрешности оставлен только знак “+”, **но и здесь, и далее** следует иметь ввиду что $\Delta X_{см.}$ может иметь как знак “+”, так и знак “-“, а если систематическая погрешность задана в виде границ (как чаще всего и бывает для неисключенных остатков систематической погрешности), то перед значением $\Delta X_{см.}$ подразумевается знак “±” (т.е. $\pm \Theta$). Значение случайной погрешности всегда указывается в виде границ (т.е. $\pm \Delta X_{сл.}$).

В соответствии с законами теории вероятностей погрешность ΔX , записанная в форме (1.5), также становится случайной величиной, имеющей тот же закон распределения, что и $\Delta X_{сл.}$. Все сказанное в равной мере относится и к результату измерения, если на основании (1.2) и (1.5) его записать в виде

$$X_{изм.} = X_{дсм} + \Delta X \quad (1.6)$$

Из теории вероятностей известно, что закон распределения можно охарактеризовать числовыми характеристиками, которые являются уже **неслучайными величинами**. Эти характеристики и используются для количественной оценки случайной погрешности.

Основными числовыми характеристиками законов распределения погрешности ΔX , записанной в виде (1.5), являются

Математическое ожидание - $M[\Delta X]$

$$M[\Delta X] = \int_{-\infty}^{\infty} \Delta X p(\Delta X) d(\Delta X), \quad (1.7)$$

где $p(\Delta X)$ - плотность вероятности погрешности ΔX ;
и дисперсия - $D[\Delta X]$

$$D[\Delta X] = \int_{-\infty}^{\infty} \{\Delta X - M[\Delta X]\}^2 p(\Delta X) d(\Delta X). \quad (1.8)$$

Математическое ожидание погрешности измерений, вычисляемое в соответствии с (1.7) есть неслучайная величина, она характеризует систематическую составляющую погрешности измерения. Т.е. $M[\Delta X] = \Delta X_{cm.}$, для чисто случайной погрешности (когда $\Delta X_{cm.} = 0$) $M[\Delta X] = 0$.

Дисперсия характеризует степень разброса отдельных значений погрешности относительно $M[\Delta X]$ и может служить характеристикой точности проведенных измерений, но имеет размерность в единицах измеряемой величины **в квадрате**. Поэтому в качестве числовой характеристики случайной погрешности чаще используют **средне квадратическое отклонение** $\sigma[\Delta X]$

$$\sigma[\Delta X] = \sqrt{D[\Delta X]} \quad (1.9)$$

Положительное значение $\sigma[\Delta X]$, вычисленное в соответствии с (1.9), называется средним квадратическим отклонением (СКО) случайной величины ΔX , а применительно к погрешностям измерений ее следует называть **средней квадратической погрешностью (СКП)** результата измерений.

Графическое представление нормального закона распределения случайных погрешностей (дифференциальная функция распределения $p(\Delta X)$ или плотность вероятностей) приведена на рисунке 1.5, а аналитическое выражение этого закона имеет вид:

$$p(\Delta X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma[\Delta X]} \exp\left\{-\frac{(\Delta X - M[\Delta X])^2}{2\sigma^2[\Delta X]}\right\} \quad (1.10)$$

В такой форме записи вид кривой распределения будет изменяться в зависимости от величины $\sigma[\Delta X]$ (см. рис. 1.5), но если характеризовать случайную погрешность безразмерным нормированным числом $t = \frac{\Delta X}{\sigma[\Delta X]}$ (нормировка относительно СКП), то получим **кривую нормированного нормального распределения**

$$P(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right), \quad (1.11)$$

с аргументом

$$t = \frac{\Delta X - M[\Delta X]}{\sigma[\Delta X]}. \quad (1.12)$$

Вид кривой нормированного нормального распределения чисто случайной погрешности ($M[\Delta X] = 0$) приведен на рисунке 1.6.

Графическое представление дифференциальной функции равномерного и треугольного законов распределения приведены на рисунке 1.7 и рисунке 1.8. Аналитическая запись этих законов распределения представлена выражениями (1.13) и (1.14) соответственно.

Часто по условиям измерительной задачи требуется найти максимальную (предельную) случайную погрешность, которая может иметь место. Максимальная случайная погрешность ($\Delta X_{сл.мах}$) связана с $\sigma[\Delta X]$ и *зависит от закона распределения*. Так, например, для нормального закона максимальная случайная погрешность часто принимается равной (см. рис. 1.6):

$$\Delta X_{сл.мах} = \pm 3\sigma[\Delta X_{сл.}]. \quad (1.15)$$

Для других законов распределения соотношения между $\Delta X_{сл.мах}$ и $\sigma[\Delta X_{сл.}]$ отличаются от (1.15). Так для равномерного закона распределения $\Delta X_{сл.мах} = \pm 1.73\sigma$; для треугольного $\Delta X_{сл.мах} = \pm 2.45\sigma$ соответственно и т.д. [8].

Определить числовые характеристики случайной погрешности воспользовавшись (1.7) и (1.8) можно только в том случае, если известно аналитическое описание закона распределения $P(\Delta X)$.

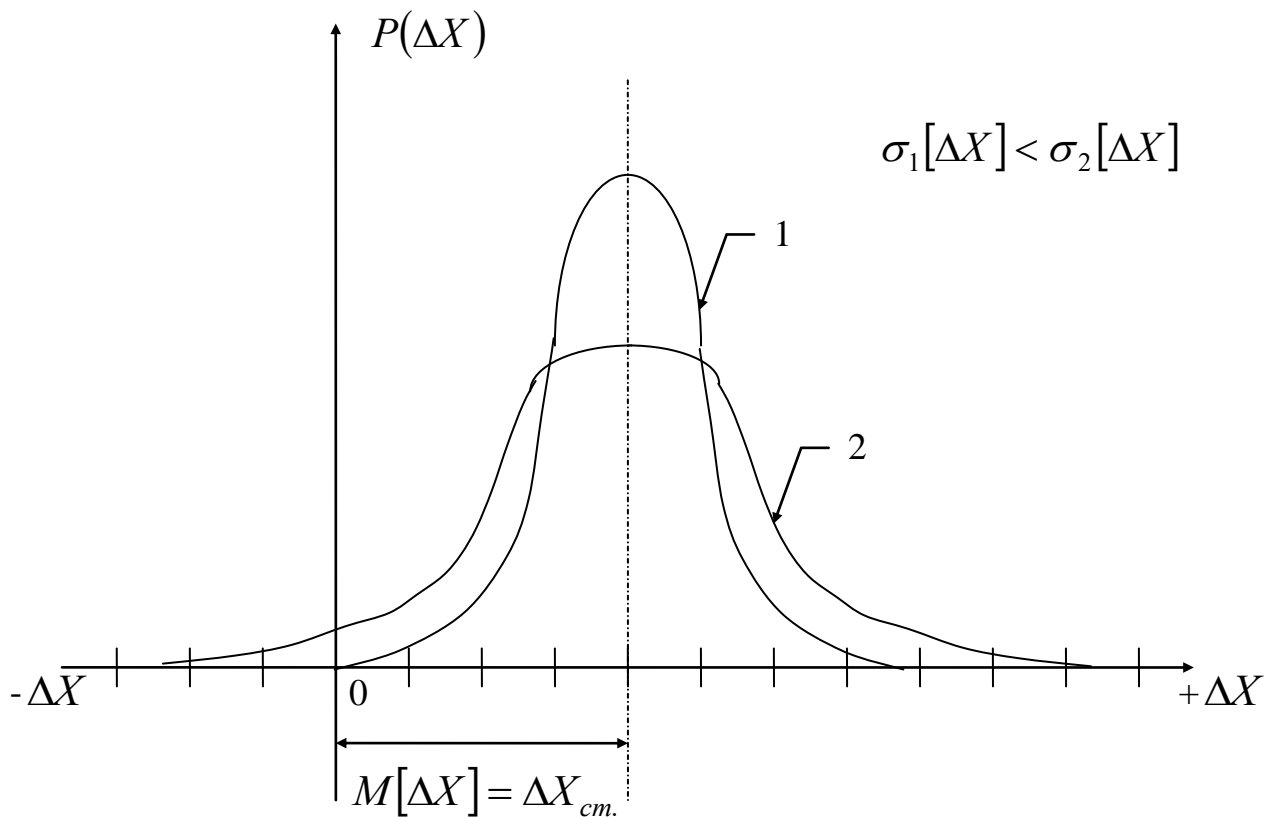
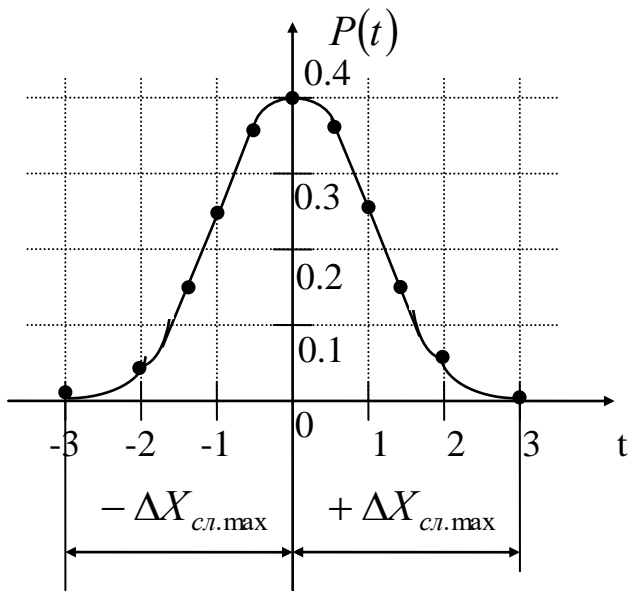
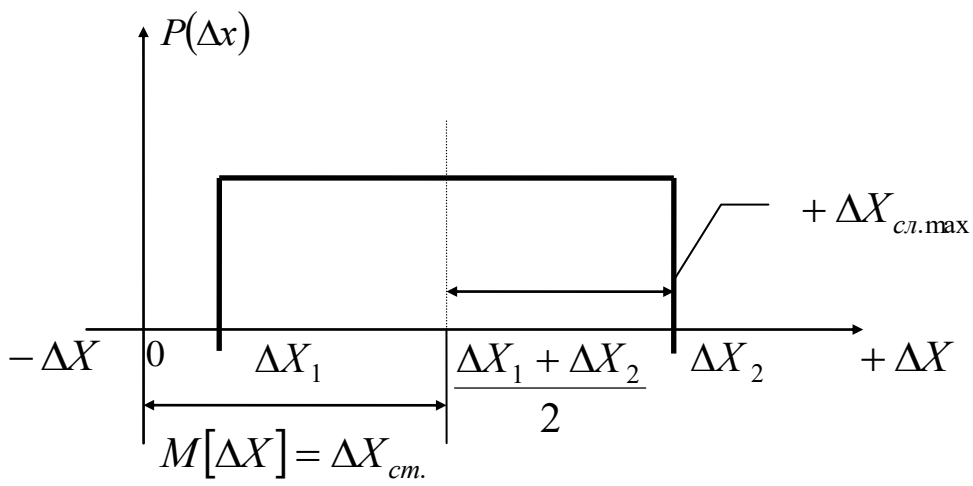


Рисунок 1.5



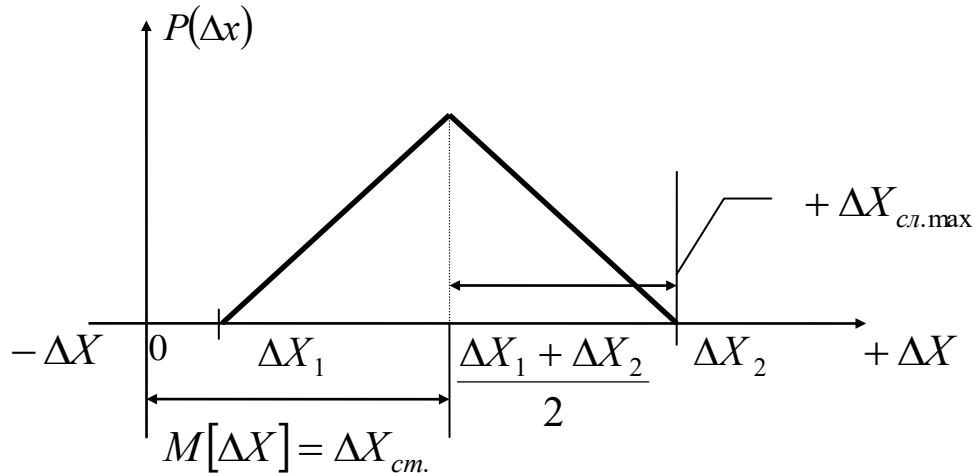
t	P(t)
0	0.3989
0.5	0.3521
1.0	0.2420
1.5	0.1295
2.0	0.0540
2.5	0.0175
3.0	0.0044

Рисунок 1.6



$$P(\Delta X) = \begin{cases} \frac{1}{\Delta X_2 - \Delta X_1}; & \text{при } \Delta X_1 \leq \Delta X \leq \Delta X_2 \\ 0; & \text{при } \Delta X < \Delta X_1 \text{ и } \Delta X > \Delta X_2 \end{cases} \quad (1.13)$$

Рисунок 1.7



$$P(\Delta X) = \begin{cases} 0 & ; \quad \text{ï ðè } \Delta X < \Delta X_1, \\ \frac{4(\Delta X - \Delta X_1)}{(\Delta X_2 - \Delta X_1)^2}; & \text{ï ðè } \Delta X_1 \leq \Delta X \leq \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2}{2}, \\ \frac{4(\Delta X_2 - \Delta X)}{(\Delta X_2 - \Delta X_1)^2}; & \text{ï ðè } \frac{\Delta X_1 + \Delta X_2}{2} \leq \Delta X \leq \Delta X_2, \\ 0 & ; \quad \text{ï ðè } \Delta X > \Delta X_2. \end{cases} \quad (1.14)$$

Рисунок 1.8

На практике числовые характеристики случайной погрешности приходится находить путем соответствующей математической обработки результатов измерений. Для нахождения числовых характеристик случайной погрешности измерения должны быть многократными (статистическими), т.е. необходимо n раз провести измерение одного и того же значения измеряемой ФВ и получить ряд результатов измерений в виде: $X_1; X_2; X_3; \dots; X_n$.

Если все результаты полученного ряда *исправлены* (т.е. не содержат систематических погрешностей), то пользуясь правилами теории вероятностей можно найти действительное значение измеряемой ФВ и числовые характеристики случайной погрешности. При этом следует учитывать тот факт, что числовые характеристики $M[X]$ и $\sigma[X]$ находятся всегда на основании ограниченного ряда результатов измерений (на практике n всегда конечное

число, т.е. $n \neq \infty$). Поэтому в результате вычислений при обработке результатов измерений находим не теоретические значения $M[X]$ и $\sigma[X]$, а их **оценки**. Для того, чтобы подчеркнуть этот факт, оценки, в отличие от теоретических значений числовых характеристик, обозначаются другими символами. Для вычисления оценок в соответствии с ГОСТ 8.207-76 используются следующие формулы:

$$M[X] = X_{\text{анн}} \approx \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i; \quad (1.16)$$

$$\sigma[X] \approx S_X = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}. \quad (1.17)$$

где \bar{X} - среднее арифметическое значение результатов серии из n измерений (оценка математического ожидания результата измерений), оценка **действительного значения измеряемой ФВ**;

S_X - оценка средней квадратической погрешности единичного измерения в ряду равноточных измерений.

Средняя квадратическая погрешность $\sigma[X]$ и ее оценка S_X , полученная путем обработки опытных данных, является основным показателем точности применительно к случайным погрешностям измерений. Но кроме этого показателя иногда (например, в экспериментальной физике) применяются и другие показатели точности: средняя абсолютная погрешность (САП), мера точности. Соотношения между этими показателями для нормального распределения следующие:

Вероятная погрешность - ρ ,

$$\rho = 0.6745\sigma \approx 0.6745 S_X,$$

погрешность, соответствующая доверительному интервалу при $P_{\text{дов.}} = 0.5$;

Средняя арифметическая погрешность (САП) - r_X ,

$$r_X = \int_{-\infty}^{\infty} |X| p(X) dX = \sigma \frac{2}{\sqrt{2\pi}} = 0.7979\sigma \approx 0.8\sigma \quad (\text{теоре-}$$

тическое значение),

$$r'_X = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{X} - X_i|}{n} \quad \text{оценка САП по экспериментальным данным для}$$

большого количества наблюдений, или

$$r_X'' = \frac{\sum_{i=1}^n |\bar{X} - X_i|}{\sqrt{n(n-1)}} \text{ оценка САП при малом количестве эксперимен-}$$

тальных данных;

Мера точности - h ,

$$h = \frac{1}{\sigma\sqrt{2}} = \frac{0.7071}{\sigma} \approx \frac{0.7071}{S_X}.$$

Точность оценок, полученных по формулам (1.16) и (1.17) растет с увеличением n и в пределе (при $n \rightarrow \infty$) они стремятся к теоретическим значениям числовых характеристик.

Поскольку при вычислении по формуле (1.16) получаем оценку математического ожидания \bar{X} и эту оценку *принимая за результат измерения*, необходимо знать степень разброса величины \bar{X} относительно $M[X]$. Характеристикой меры разброса служит оценка *средней квадратической погрешности среднего арифметического* - $S_{\bar{X}}$, вычисляемая по формуле:

$$S_{\bar{X}} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X})^2}{n(n-1)}} = \frac{S_X}{\sqrt{n}}. \quad (1.18)$$

Как следует из (1.18) средняя квадратическая погрешность среднего арифметического $S_{\bar{X}}$ в \sqrt{n} раз меньше средней квадратической погрешности единичного измерения S_X .

Полученные в соответствии с (1.17) и (1.18) оценки СКП *имеют размерность измеряемой ФВ*, т.е. выражены в абсолютной форме. Для выражения этих оценок в относительной форме следует поступать по общему правилу (см.(1.3)), т.е.:

$$S_{X_{отн.}} = \frac{S_X}{X_i}; \quad S_{\bar{X}_{отн.}} = \frac{S_{\bar{X}}}{\bar{X}}.$$

$S_{X_{отн.}}$ и $S_{\bar{X}_{отн.}}$ могут быть выражены как безразмерным числом, так и в процентах, что чаще всего и бывает.

Полученные по формулам (1.16 - 1.18) числовые характеристики выражаются определенным числом и называются *точечными оценками*.

С использованием точечных оценок результат измерения с учетом случайной погрешности может быть представлен в виде :

$$X_{отн.} = \bar{X} \pm S_{\bar{X}}. \quad (1.19)$$

Такая запись говорит о том, что действительное значение измеряемой ФВ может находиться в интервале значений $X_{отн.} = \bar{X} - S_{\bar{X}}$ до

$X_{\text{дст. в.}} = \bar{X} + S_{\bar{X}}$. Вероятность этого события пока не определена. Более того, результат измерения может находиться и вне интервала ограниченного значения $X_{\text{дст. н.}}$ и $X_{\text{дст. в.}}$. Вероятность этого события также пока не определена. Более полную информацию о действительном значении измеряемой величины дает представление результата измерения в виде **доверительного интервала** при заданной **доверительной вероятности** $P_{\text{дов}}$.

Для результата измерения доверительным называется интервал, который с заданной вероятностью, называемой доверительной вероятностью ($P_{\text{дов}}$), включает действительное значение измеряемой ФВ, т.е. это интервал значений $(\bar{X} - \Delta\bar{X}, \bar{X} + \Delta\bar{X})$, для которого

$$P[(\bar{X} - \Delta\bar{X}) \leq X_{\text{дст. н.}} \leq (\bar{X} + \Delta\bar{X})] = P_{\text{дов}} \quad (1.20)$$

Для случайной погрешности доверительным интервалом называется интервал значений случайной погрешности, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое значение погрешности $\Delta\bar{X}$, т.е.

$$P[-\Delta_{\text{сл.}} \leq \Delta\bar{X} \leq +\Delta_{\text{сл.}}] = P_{\text{дов}}. \quad (1.21)$$

При определении доверительных интервалов доверительной вероятностью задаются (если она не задана условиями измерительной задачи). В зависимости от условий измерений и конкретных требований $P_{\text{дов}}$ принимают, например, равной от 0.9 до 0.999. Чем больше принятое значение $P_{\text{дов}}$, тем более надежно будет оценен интервал, но тем шире будут его границы, т.е. надежность оценок $(\bar{X}, S_{\bar{X}})$ будет выше. Для технических измерений при нормальном законе распределения в большинстве случаев достаточной считается величина $P_{\text{дов}} = 0.95$.

Следует заметить, что точечная оценка $S_{\bar{X}}$, полученная на основании экспериментальных данных при ограниченном числе измерений n остается случайной величиной (так, например, если обработать другую выборку результатов измерения той же ФВ с другим числом измерений n^* , то получим новую оценку $S_{\bar{X}}^*$, немного отличающуюся от $S_{\bar{X}}$). Следовательно может быть рассмотрена задача о определении **доверительного интервала для оценки средней квадратической погрешности** среднего арифметического $S_{\bar{X}}$ при некоторой доверительной вероятности. Методику определения доверительного интервала для $S_{\bar{X}}$, при необходимости, можно найти в [5, 6].

При определении характеристик случайной погрешности приходится решать как задачи определения доверительных границ СКП при заданной доверительной вероятности, так и обратную задачу, определения доверительной вероятности $P_{\text{дов}}$ с которой СКП не выйдет за границы заданного (симмет-

ричного или несимметричного) интервала при заданном законе распределения случайной погрешности.

Границы симметричного доверительного интервала ($\pm \Delta \bar{X}_p$), за пределы которого с заданной доверительной вероятностью не выходят случайные погрешности результата статистических измерений, определяют в соответствии с выражением:

$$\Delta \bar{X}_p = \pm t_p S_{\bar{X}}, \quad (1.22)$$

где t_p - безразмерный коэффициент, определяемый задаваемой доверительной вероятностью ($P_{дог}$) и **видом закона распределения** случайных погрешностей.

При несимметричном задании доверительного интервала говорят о нижней - $\Delta \bar{X}_н$ и верхней - $\Delta \bar{X}_г$ границах интервала для случайной погрешности результата измерений. Выражение (1.21) в этом случае следует записать в виде:

$$P[\Delta \bar{X}_н \leq \Delta \bar{X} \leq \Delta \bar{X}_г] = P_{дог},$$

а вероятность того, что случайная погрешность окажется внутри указанного интервала определяется в общем случае в соответствии с выражением

$$P_{дог} = \int_{\Delta \bar{X}_н}^{\Delta \bar{X}_г} p(\Delta \bar{X}) d(\Delta \bar{X}) \quad (1.23)$$

Для случайной погрешности, распределенной по нормальному закону, выражение (1.23), с использованием нормированной функции нормального распределения (1.11), можно записать в виде:

$$P_{дог} = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{t_n}^{t_g} e^{-\frac{t^2}{2}} dt, \quad (1.24)$$

где $t_n = \frac{\Delta \bar{X}_н}{S_{\bar{X}}}$ - значение безразмерного коэффициента для нижней границы

доверительного интервала;

$t_g = \frac{\Delta \bar{X}_г}{S_{\bar{X}}}$ - значение того же коэффициента для верхней границы доверительного интервала.

Для симметричного интервала ($\pm t_i$) (1.24) можно переписать в виде:

$$P_{дог} = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt. \quad (1.25)$$

Интеграл вида:

$$P(t_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^{t_i} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.26)$$

называется нормированной функцией Лапласа или интегралом вероятностей. Значения этого интеграла или интеграла вида (1.25) для различных значений аргумента приводятся в справочных таблицах (см. таблицу 1 приложения в методических указаниях), с использованием которых можно решить прямую и обратную задачи определения характеристик случайной погрешности, **распределенной по нормальному закону**. При этом не следует забывать, что пользуясь табличными значениями интеграла вида (1.25) находим **полную вероятность** попадания в симметричный интервал с границами $\pm t_i$, а пользуясь табличными значениями интеграла вида (1.26) - только половину полной вероятности для одной части симметричного доверительного интервала. При решении этих задач можно использовать также таблицы значений нормированной интегральной функции нормального распределения вида:

$$\Phi(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{t^2}{2}} dt \quad (1.27)$$

С использованием табличных значений функции $\Phi(t)$ (см. таблицу 2 приложения в методических указаниях) выражение (1.24) для доверительной вероятности нахождения случайной погрешности внутри несимметричного интервала от t_n до t_g записывается следующим образом:

$$P_{\text{дог}} = \Phi(t_g) - \Phi(t_n) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \left(\int_{-\infty}^{t_g} e^{-\frac{t^2}{2}} dt - \int_{-\infty}^{t_n} e^{-\frac{t^2}{2}} dt \right) \quad (1.28)$$

Табличными значениями нормированной функции Лапласа удобно пользоваться для решения задач при симметричном задании доверительного интервала, а табличными значениями нормированной интегральной функции - при несимметричном.

При определении числовых характеристик случайной погрешности по результатам эксперимента табличные значения интегралов вида (1.25) и (1.28) следует использовать в том случае, если количество наблюдений в выборке достаточно велико ($n > 20$). При малом n точечные оценки случайной погрешности сами становятся случайными величинами. Учитывая это, выражение (1.12) для нормированного отклонения результата измерений от действительного значения при $n < 20$ следует записать в виде:

$$t_n = \frac{\bar{X} - M[X]}{S_{\bar{X}}} \quad (1.29)$$

Использование символа t_n в (1.29) подчеркивает тот факт, что нормированное отклонение определено с использованием оценок (\bar{X} и $S_{\bar{X}}$) полученных при обработке выборки малого объема.

Величина t_n , таким образом, является некоторой функцией числа наблюдений в выборке n . Следовательно и границы доверительного интервала определяемые в соответствии с (1.22) будут зависеть не только от доверительной вероятности, но и от числа наблюдений n . Закон распределения случайной величины t_n отличается от нормального и называется распределением Стьюдента. Это различие существенно при малых n , а при $n \rightarrow \infty$ распределение Стьюдента полностью совпадает с нормальным. Таким образом, **при обработке результатов статистических измерений при малом количестве наблюдений ($n < 20$) доверительный интервал следует определять с использованием распределения Стьюдента.** Чтобы подчеркнуть, что в этом случае коэффициент t в (1.22) зависит не только от доверительной вероятности $P_{\text{доп.}}$, но и от числа наблюдений n , выражение (1.22) записывается в виде:

$$\Delta \bar{X}_{p,n} = \pm t_{p,n} S_{\bar{X}} \quad (1.30)$$

где $t_{p,n}$ - коэффициент, определяемый по таблицам распределения Стьюдента при выбранной доверительной вероятности для конкретного количества наблюдений n .

Распределение Стьюдента также табулировано и значения коэффициента $t_{p,n}$ при выбранной доверительной вероятности для каждого конкретного значения n можно определить по таблице 4 (см. приложение в методических указаниях).

Формулой (1.22) для определения границ симметричного доверительного интервала можно пользоваться при любом законе распределения случайной погрешности, **если имеются таблицы соответствующего закона распределения** аналогичные таблицам 1 и 2 (см. приложение в методических указаниях). К сожалению, для других законов распределения (кроме нормального) такие таблицы не получили широкого применения. Но анализ интегральных кривых различных законов распределения обнаружил уникальное свойство доверительного интервала, соответствующего доверительной вероятности $P_{\text{доп.}} = 0.9$. Оказалось, что для широкого класса симметричных распределений (нормального, равномерного, треугольного, трапецеидального, экспоненциального и даже ряда двухмодальных законов) с погрешностью не более $\pm 10\%$ границы симметричного доверительного интервала при $P_{\text{доп.}} = 0.9$ равны $\pm 1.6\sigma$ [8]. Поэтому ГОСТ 11.001-73 предписывает **при отсутствии данных о виде закона распределения** определять симметричный доверительный интервал только при $P_{\text{доп.}} = 0.9$ пользуясь соотношением:

$$\Delta\bar{X}_{P_{\text{доов.}}=0.9} = \pm 1.6S_{\bar{X}}.$$

Таким же образом следует определять доверительный интервал для перечисленных выше законов распределение при отсутствии таблиц соответствующего распределения.

Результат измерений с многократными наблюдениями, при указании случайной погрешности в виде симметричного доверительного интервала должен быть представлен в виде:

$$\begin{aligned} X_{\text{изм.}} &= \bar{X} \pm \Delta\bar{X}_{(P_{\text{доов.}})}; \quad P_{\text{доов.}} = A; \quad (\text{при } n > 20), \\ X_{\text{изм.}} &= \bar{X} \pm \Delta\bar{X}_{P_{\text{доов.},n}}; \quad P_{\text{доов.}} = A; \quad n = k \quad (\text{при } n < 20). \end{aligned} \quad (1.31)$$

Как уже отмечалось, ряд экспериментальных данных, полученных при многократном измерении одного и того же значения измеряемой ФВ, может содержать результаты, имеющие в своем составе грубые погрешности. Для того, чтобы эти данные не искажали результат измерений, их следует **исключить** до того, как будет определяться оценка $S_{\bar{X}}$ и доверительный интервал $\Delta\bar{X}_p$ (или $\Delta\bar{X}_{p,n}$). Эта процедура называется **исключением грубых погрешностей**. Статистический критерий обнаружения грубых погрешностей разработан для случая, когда группа обрабатываемых данных **подчиняется нормальному закону распределения**. В этом случае теория вероятностей позволяет при выбранной доверительной вероятности $P_{\text{доов.}}$ рассчитать теоретически допустимые границы максимальных (по модулю) нормированных отклонений для выборки из n наблюдений

$$\beta_{\Gamma} = \frac{\max|X_i - M[X]|}{\sigma_X} \approx \frac{\max|X_i - \bar{X}|}{S_X} \quad (1.32)$$

Теоретически допустимые границы β_{Γ} табулированы для различных значений n при разных уровнях доверительной вероятности $P_{\text{доов.}}$ (или разных уровнях значимости g , где $g = 1 - P_{\text{доов.}}$). Табличные значения β_{Γ} приведены в таблице 3 приложения в методических указаниях.

Применение статистического критерия обнаружения грубых погрешностей регламентировано ГОСТ 11.002-73 и состоит в следующем. После определения \bar{X} и S_X для некоторого X_k , который резко выделяется из общей совокупности обрабатываемых результатов, определяют величину нормированного отклонения

$$\beta_{\Gamma}^* = \frac{|X_k - \bar{X}|}{S_X}. \quad (1.33)$$

Задав уровень доверительной вероятности $P_{\text{дов.}}$ по таблице 3 (см. приложение в методических указаниях) для числа n , соответствующего обрабатываемой выборке, находят допустимое нормированное отклонение β_{Γ} .

Если $\beta_{\Gamma}^* > \beta_{\Gamma}$, то результат X_k можно отбросить. В противном случае результат должен быть оставлен.

Если после исключения X_k вызывает сомнение какое-либо другое данное, то указанный порядок действий (определение \bar{X} ; S_x и β^*) повторяют, но уже не учитывая исключенное данное X_k .

Следует подчеркнуть, **что если нет достаточных оснований считать обрабатываемую совокупность результатов нормально распределенной, описанный критерий** обнаружения грубых погрешностей **применять нельзя**.

Если о виде распределения опытных данных заранее ничего определенного сказать нельзя, то прежде чем исключать грубые погрешности, определять $S_{\bar{X}}$ и $\Delta\bar{X}_{P_{\text{дов.}}}$ необходимо проверить гипотезу о принадлежности группы экспериментальных данных нормальному распределению. Проверить гипотезу о том, что распределение опытных данных не противоречит теоретическому, можно по ряду критериев. Но следует иметь в виду, что **при $n < 10$ проверить гипотезу** о виде распределения экспериментальных данных **невозможно**. При $10 \leq n \leq 50$ проверка гипотезы затруднена, в этом случае пользуются, как правило, составным критерием [5]. При достаточно большом числе данных ($n > 50$) лучшим критерием проверки гипотезы о виде распределения является критерий χ^2 (или критерий согласия К. Пирсона) [5, 6].

Критерий Пирсона используется для проверки согласия распределения предварительно сгруппированных по интервалам опытных данных теоретическому распределению. Идея метода состоит в контроле отклонения гистограммы опытных данных от гистограммы с таким же числом интервалов, построенной на основе теоретического распределения. **Мерой расхождения** служит сумма квадратов разностей экспериментального количества результатов, попавших в соответствующий интервал, и количества результатов, **которые теоретически должны попадать** в этот интервал. Сумма квадратов разностей (χ_{Σ}^2) не должна выходить за границы ($\chi_n^2; \chi_v^2$), определенные по таблицам χ^2 -распределения (таблица 5 см. приложение в методических указаниях) при заданном уровне доверительной вероятности (или уровне значимости $g = 1 - P_{\text{дов.}}$). Положительный ответ, полученный при использовании критерия согласия χ^2 , следует трактовать так, **что распределение опытных данных не противоречит теоретическому** (на соответствие которому проверялось). **Но это не означает что оно полностью соответствует тео-**

ретическому. При определенной доверительной вероятности χ^2 может дать положительный результат и для некоторого другого теоретического закона распределения. Однозначным ответом является лишь отрицательный результат применения критерия χ^2 , который трактуется так: распределение опытных данных *не соответствует* теоретическому, на соответствие которому проверялось. Таким образом при использовании критерия согласия Пирсона следует помнить следующее.

Критерий χ^2 позволяет проверить соответствие опытных данных любому (выбранному заранее по каким либо признакам) теоретическому распределению, а не только нормальному. Однако этот критерий (как, впрочем, и другие критерии согласия) *не позволяет однозначно установить вид распределения этих данных*.

Методика использования критерия χ^2 с необходимыми пояснениями приводится на примере в п.1.3.4.

1.3. Математическая обработка результатов измерений

1.3.1. Правила суммирования составляющих погрешности

Как уже говорилось и систематические и случайные погрешности могут вызываться различными причинами. Часто путем анализа условий проведения измерений можно выявить эти причины и оценить величину погрешности (систематической или случайной) вызываемой каждой причиной в отдельности. Для представления результата измерения с указанием погрешности возникает *задача суммирования составляющих* с целью определения общей погрешности результата измерений. При суммировании составляющих погрешности можно выделить три случая:

- 1) определение суммарной систематической погрешности;
- 2) определение суммарной случайной составляющей погрешности (в том случае, когда есть несколько независимых причин, вызывающих случайную погрешность, причем каждая составляющая, в общем случае может иметь свой закон распределения);
- 3) определение *общей погрешности* результата измерений с учетом суммарной систематической и суммарной случайной составляющих погрешности.

При определении суммарной систематической погрешности для конкретного измерения составляющие могут быть известны *по величине и знаку*. В этом случае реализация систематической погрешности результата $\Delta X_{cm.\Sigma}$ представляет собой алгебраическую сумму составляющих $\Delta X_{cm.i}$

$$\Delta X_{cm.\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta X_{cm.i} \quad (1.34)$$

Если в результате анализа можно оценить **только границы**, в пределах которых может находиться каждая составляющая систематической погрешности, а также в том случае, когда для исправления результата по каждой составляющей вводилась поправка, но из-за неточности поправки оценивались границы **неисключенных остатков** составляющих систематической погрешности, то конкретные реализации систематических погрешностей (или неисключенных остатков) следует рассматривать как реализацию **случайной величины**. Если известны только границы $\pm \Theta_i$ для НСП или $\pm \Delta X_{cm.i}$ для составляющих систематической погрешности, когда поправки не вводились, и ничего неизвестно о возможном законе распределения этих величин, то принято считать распределение каждой из составляющих **равномерным** в пределах указанных границ и **границы суммарной систематической погрешности** (или границы суммарного остатка НСП) определяют, выбрав некоторый определенный уровень доверительной вероятности $P_{дов.}$ по формуле:

$$\pm \Delta X_{\Sigma cm.p} = K_p \sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta X_{cm.i}^2} \text{ для систематических погрешностей (когда поправки не вводились), и } \pm \Theta_{\Sigma p} = K_p \sqrt{\sum_{i=1}^n \Theta_i^2} \text{ для НСП.} \quad (1.35)$$

Коэффициент K_p в общем случае зависит от доверительной вероятности $P_{дов.}$ и от числа суммируемых составляющих m . Строгое определение значения коэффициента K_p достаточно сложная задача, поэтому на практике пользуются усредненными значениями коэффициента K_p (не зависящими уже от числа слагаемых m). Усредненные значения коэффициента K_p приведены в таблице 1.1 [5, 6].

Таблица 1.1

$P_{дов.}$	0.9	0.95	0.98	0.99
K_p	0.95	1.1	1.3	1.4

При малом числе составляющих ($m \leq 4$) после нахождения $\Theta_{\Sigma p}$ по формуле (1.35), необходимо сравнить ее с арифметической границей $\Theta_{\Sigma}^* = \sum_{i=1}^n |\Theta_i|$. Ясно, что $\Theta_{\Sigma p}$ не может быть больше Θ_{Σ}^* . Если $\Theta_{\Sigma p} > \Theta_{\Sigma}^*$,

то в качестве границ суммарной систематической погрешности принимается меньшая величина, т.е. Θ_{Σ}^* .

При использовании вероятностного подхода к суммированию составляющих систематической погрешности, заданных границами ($\pm \Delta X_{cm.i}$ или $\pm \Theta_i$), **правомерно ввести понятие среднего квадратического отклонения суммарной систематической погрешности** (или суммарного остатка НСП), которое следует определить по формуле :

$$S_{\Theta_{\Sigma}} = \sqrt{\frac{1}{3} \sum_{i=1}^n \Theta_i^2} \quad (1.36)$$

При определении суммарной случайной погрешности результата измерений при условии, что случайная погрешность вызывается несколькими причинами, а случайная погрешность, вызываемая каждой из причин в отдельности известна и характеризуется СКП - S_i , следует пользоваться правилами теории вероятности. Если все составляющие погрешности независимы, то для определения суммарной СКП - S_{Σ} пользуются формулой:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2} \quad (1.37)$$

В общем случае, при наличии корреляции между составляющими случайной погрешности, пользуются формулой:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{\sum_{i=1}^n S_i^2 + 2 \sum_{i \neq j}^n \rho_{ij} S_i S_j}, \quad (1.38)$$

где ρ_{ij} - коэффициент корреляции между i и j составляющими случайной погрешности ($-1 \leq \rho \leq 1$).

Формулы (1.37) и (1.38) справедливы для СКП - S_i , выраженных как в абсолютной, так и в относительной формах. Доверительный интервал случайной погрешности результата измерений и в этом случае определяется по формуле, аналогичной (1.22).

Часто бывает достаточно указать отдельно суммарную систематическую погрешность $\Theta_{\Sigma p}$ (ее границы) и суммарную случайную погрешность в виде доверительного интервала $\Delta X_{cl.p}$. Необходимо, чтобы эти величины были вычислены при одинаковой доверительной вероятности $P_{дов.} = A$. Результат измерения в этом случае в соответствии с требованиями ГОСТ 8.207-76 представляется в следующем виде:

$$X = X_{изм.}; \Theta_{\Sigma}; \Delta X_{cl.}; P_{дов.} = A. \quad (1.39)$$

Если границы суммарной систематической погрешности (или границы суммы НСП) или границы доверительного интервала случайной погрешности не одинаковы (несимметричны), то они указываются по отдельности в виде $\Theta_{\Sigma B}$ и $\Theta_{\Sigma H}$, или $\Delta X_{сл.В}$ и $\Delta X_{сл.Н}$.

Раздельная запись составляющих погрешности результата измерения целесообразна в тех случаях, когда полученный результат в дальнейшем подвергается анализу и сопоставлению с другими результатами аналогичного измерительного эксперимента или используется как промежуточный при нахождении других величин. Раздельно границы НСП и границы доверительного интервала случайной погрешности указываются также для эталонов, в соответствии с ГОСТ 8.381-80, и некоторых высокоточных СИ.

Иногда условия измерительной задачи требуют представить результат измерений *с указанием границ общей суммарной погрешности*. Строгое решение этой задачи требует большого объема вычислений, что оправдано только при метрологических измерениях. **В практике технических измерений** границы общей погрешности определяют руководствуясь рекомендациями ГОСТ 8.207-76, которые заключается в следующем. [10]

$$\text{Если отношение } K = \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} < 0.8,$$

где Θ_{Σ} определено по формуле (1.35), а S_{Σ} - по формулам (1.37) или (1.38), то **неисключенными систематическими погрешностями пренебрегают** и в качестве границ общей погрешности принимают границы доверительного интервала случайной погрешности:

$$\Delta X_{общ.(P_{доп.})} = \pm \Delta X_{сл.(P_{доп.})} = \pm t_p S_{\Sigma}.$$

$$\text{Если } K = \frac{\Theta_{\Sigma}}{S_{\Sigma}} > 8, \text{ то пренебрегают случайной погрешностью}$$

и в качестве границ общей погрешности принимают границы суммарной систематической погрешности:

$$\Delta X_{общ.(P_{доп.})} = \pm \Theta_{\Sigma(P_{доп.})}$$

Доказано, что при выполнении указанных неравенств, погрешность определения границ общей погрешности, возникающая за счет пренебрежения одной из составляющих, **не превышают 12%**.

Если же $0.8 \leq K \leq 8$ границы общей погрешности следует находить пользуясь эмпирическими формулами:

$$\Delta X_{общ.(P_{доп.})} = K_{\Sigma} S_{общ.}, \quad (1.40)$$

где $K_{\Sigma} = \frac{\Delta X_{сл.(P_{дог.})} + \Theta_{\Sigma}(P_{дог.})}{S_{\Sigma}^2 + \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{\Theta_i^2}{3}}}$ - коэффициент, зависящий от соотноше-

ния случайной и неисключенной систематической погрешностей;

$S_{общ.} = \sqrt{S_{\Sigma}^2 + \sum_{i=1}^n \frac{\Theta_i^2}{3}}$ - оценка суммарного среднего квадратического от-

клонения результата.

Окончательный результат измерения в этом случае представляется в ви-
де:

$$\begin{aligned} X &= X_{изм.}; \Delta X_{общ.(P_d=A)} \text{ или} \\ X &= X_{изм.} \pm \Delta X_{общ.}; P_d = A, \text{ или} \\ X_{изм.} - \Delta X_{общ.} &\leq X \leq X_{изм.} + \Delta X_{общ.}; P_d = A. \end{aligned} \quad (1.41)$$

1.3.2. Правила округления значения погрешности и записи результата измерений

Погрешность результата измерений позволяет определить те цифры результата, которые являются достоверными. При расчете величины погрешности, особенно с помощью калькуляторов, значение погрешности получается с большим числом знаков. Это создает впечатление о высокой точности измерений, что не соответствует действительности, так как исходными данными для расчета чаще всего являются нормируемые значения погрешности используемого СИ, которые указываются всего с одной или двумя значащими цифрами. Вследствие этого и в окончательном значении рассчитанной погрешности не следует удерживать более двух значащих цифр. В метрологии существуют следующие правила:

1. Погрешность результата измерения указывается двумя значащими цифрами, если первая из них 3 или меньше, и одной - если первая цифра есть 4 и более.

Значащими цифрами числа считаются все цифры от первой слева, не равной нулю, до последней справа цифры, при этом нули, записанные в виде множителя 10^n , не учитываются.

2. Результат измерения округляется до того же десятичного разряда, которым оканчивается округленное значение абсолютной погрешности. (Например, результат 85.6342, погрешность ± 0.01 . Результат округляют до 85.63. Тот же результат при погрешности в пределах ± 0.012 следует округлить до 85.634).

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

4. Округление следует выполнять сразу до желаемого числа значащих цифр, поэтапное округление приводит к ошибкам.

При округлении числовых значений погрешности и результата измерений необходимо руководствоваться следующими общими правилами округления.

Лишние цифры в целых числах заменяются нулями, а в десятичных дробях отбрасываются. (Например, число 165245 при сохранении четырех значащих цифр округляется до 165200, а число 165.245 - до 165.2).

Если десятичная дробь оканчивается нулями, они отбрасываются только до разряда, который соответствует разряду погрешности. (Например, результат измерений 235.200, погрешность ± 0.05 . Результат округляют до 235.20. Тот же результат при погрешности в пределах ± 0.015 следует округлить до 235.200).

Если первая (считая слева направо) из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр меньше 5, остающиеся цифры *не изменяются*.

Если первая из этих цифр равна 5, а за ней не следует никаких цифр, или идут нули, то, *если последняя цифра в округляемом числе четная или ноль, она остается без изменения, если нечетная - увеличивается на единицу*. (Например, число 1234.50 округляют до 1234, а число 8765.50 - до 8766).

Если первая из заменяемых нулями или отбрасываемых цифр больше 5 или равна 5, но за ней следует значащая цифра, *то последняя остающаяся цифра увеличивается на единицу*. (Например, число 6783.6 при сохранении четырех значащих цифр, округляют до 6784, а число 12.34520 - до 12.35).

Особенно внимательно следует относиться к записи результата измерения без указания погрешности, так как записи результата $2.4 \cdot 10^3$ В и 2400В *не являются тождественными*. Первая запись означает, *что верны цифры тысяч и сотен вольт* и истинное значение может находиться в интервале от 2.351кВ до 2.449кВ. Запись 2400 означает, что верны и единицы вольт, следовательно истинное значение напряжения может находиться в интервале от 2399.51В до 2400.49В.

Поэтому запись результата без указания погрешности *крайне нежелательна*.

Окончательно правила записи результата измерений можно сформулировать следующим образом.

1) При промежуточных вычислениях значения погрешности сохраняют три -четыре значащие цифры.

2) Окончательное значение погрешности и значение результата округляются в соответствии с изложенными выше правилами.

3) При однократных технических измерениях когда учитывается только основная погрешность СИ (СИ используются в нормальных условиях эксплуатации), результат записывается в виде:

$$X = X_{изм.} \pm \Delta X \text{ или}$$

$$X_{изм.} - \Delta X \leq X \leq X_{изм.} + \Delta X.$$

(Например, результат измерения напряжения $U = 15.35\text{ В}$, погрешность $\Delta U = \pm 0.25\text{ В}$. Результат может быть записан в виде:)

$$U = 15.35\text{ В} \pm 0.25\text{ В}, \text{ или}$$

$$U = (15.35 \pm 0.25)\text{ В}, \text{ или}$$

$$15.10\text{ В} < U < 15.60\text{ В}.$$

4) При однократных технических измерениях в рабочих условиях, когда по нормативным данным на СИ учитывают основную и дополнительные погрешности и результирующую погрешность определяют по формуле (1.35), результат записывают в виде:

$$X = X_{изм.} \pm \Delta X; P_{дов.} = A, \text{ или}$$

$$X_{изм.} - \Delta X \leq X \leq X_{изм.} + \Delta X; P_{дов.} = A.$$

5) При статистических измерениях, когда определяется только величина случайной погрешности нормально распределенных данных в виде доверительного интервала, результат записывается в соответствии с (1.31):

$$X = \bar{X}; \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A, \text{ или}$$

$$X = \bar{X} \pm \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A, \text{ или}$$

$$\bar{X} - \Delta \bar{X} \leq X \leq \bar{X} + \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A \text{ (при } n > 20)$$

$$X = \bar{X}; \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A; n = k, \text{ или}$$

$$X = \bar{X} \pm \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A; n = k, \text{ или}$$

$$\bar{X} - \Delta \bar{X} \leq X \leq \bar{X} + \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A; n = k \text{ (при } n = k < 20).$$

Если границы доверительного интервала несимметрична, то они указываются по отдельности.

Например,

$$X = \bar{X}; \Delta \bar{X}_n; \Delta \bar{X}_\epsilon; P_{дов.} = A, \text{ или}$$

$$\bar{X} - \Delta \bar{X}_n \leq X \leq \bar{X} + \Delta \bar{X}_\epsilon; P_{дов.} = A.$$

6) При статистических измерениях, когда оцениваются границы неисключенных систематических погрешностей результата (НСП) и доверительный интервал случайной погрешности нормально распределенных данных, но результат используется как промежуточный для нахождения других величин (например, при статистических косвенных измерениях) или предполагается сопоставление его с другими результатами аналогичного измерительного эксперимента, результат записывается в соответствии с (1.39):

$$X = \bar{X}; \Theta_\Sigma; \Delta \bar{X}; P_{дов.} = A,$$

если $n = k < 20$, то это указывается дополнительно, как в п. 5.

Если границы НСП или границы доверительного интервала несимметричны, то они указываются по отдельности:

$$X = \bar{X}; \Theta_{\Sigma H}; \Theta_{\Sigma H}; \Delta \bar{X}_n; \Delta \bar{X}_B; P_{\text{дов.}} = A,$$

7) Если при измерении получены оценки погрешности при условиях, оговоренных в п. 6, но результат является окончательным и не предполагается в дальнейшем анализ его и сопоставление с другими результатами, то он записывается в соответствии с (1.41):

$$X = \bar{X}; \Delta \bar{X}_{\text{общ.}}; P_{\text{дов.}} = A, \text{ или}$$

$$X = \bar{X} \pm \Delta \bar{X}_{\text{общ.}}; P_{\text{дов.}} = A, \text{ или}$$

$$\bar{X} - \Delta \bar{X}_{\text{общ.}} \leq X \leq \bar{X} + \Delta \bar{X}_{\text{общ.}}; P_{\text{дов.}} = A.$$

где $\Delta \bar{X}_{\text{общ.}}$ определяется по формуле (1.40),

если же $n = k < 20$, это указывается дополнительно, как в п. 5.

8) При статистических измерениях, когда оцениваются границы НСП и доверительный интервал случайной погрешности, но при обработке результатов идентифицирован закон распределения, отличный от нормального, оценки значения результата измерения и доверительный интервал случайной погрешности находятся по соответствующим формулам [5], результат представляется в виде аналогичном представлению результата в п. 6, но дополнительно приводится информация о виде закона распределения опытных данных.

9) Если как в п. 8 обрабатываются результаты статических измерений и заранее известно, что закон распределения опытных данных отличается от нормального, но действий по идентификации вида реального закона по какой-либо причине не предпринимается, то результат может быть представлен в виде, аналогичном представлению результата в п. 6, но доверительный интервал случайной погрешности определяется в соответствии с рекомендациями ГОСТ 11.001-73 как $\Delta \bar{X} = 1.6S_x$ при доверительной вероятности $P_{\text{дов.}} = 0.9$.

Запись результата может выглядеть, например, так:

$$X = \bar{X}; \Theta_{\Sigma} \text{ (при } P_{\text{дов.}} = A); \Delta \bar{X} = 1.6S_x; P_{\text{дов.}} = 0.9; n = k.$$

Доверительная вероятность, при которой определяется суммарный НСП - Θ_{Σ} , в этом случае может отличаться от $P_{\text{дов.}} = 0.9$.

1.3.3. Обработка результатов прямых обыкновенных измерений

Большую часть измерений, проводимых при проверке, настройке и регулировке различных радиоэлектронных устройств, составляют обыкновенные однократные (технические) прямые измерения. Особенность таких измерений состоит в том, что, *поскольку измерение выполняется без повторных наблюдений*, по данным эксперимента *нельзя отделить случайные погреш-*

ности от неисключенных систематических. Поэтому для погрешности результата измерения, как правило, оценивают только ее границы. Оценка границ погрешности результата таких измерений **осуществляется на основе нормативных данных о свойствах используемых СИ** (на основе метрологических характеристик СИ, приводимых в техническом описании). Поскольку нормы относятся к любым экземплярам СИ определенного типа, у конкретного экземпляра, используемого в конкретном измерении, действительные свойства могут отличаться от их норм. **Но погрешности исправного СИ, используемого в конкретном измерительном эксперименте, никогда не могут превышать норм, указанных в нормативно технических документах на СИ данного типа!**

Для высокоточных СИ и средств измерений, используемых в качестве образцовых, систематическая и случайная составляющие погрешности могут нормироваться отдельно. **Для большинства СИ, предназначенных для технических измерений, нормируется предел допускаемого значения суммы систематической и случайной погрешностей.** На основе этой метрологической характеристики устанавливаются **классы точности СИ. Класс точности - обобщенная характеристика точности СИ.** В соответствии с ГОСТ 8.401-80 "ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования", классы точности устанавливаются для СИ, у которых погрешность нормируется в виде пределов допускаемой основной и дополнительных погрешностей. **Предел допускаемой основной погрешности нормируется для нормальных условий эксплуатации СИ,** которые особо оговариваются в техническом описании. Если рабочие условия эксплуатации СИ отличаются от нормальных - **возникают дополнительные погрешности.** Пределы допускаемых дополнительных погрешностей нормируются по отдельности для каждого влияющего фактора, выражаются, как правило, в виде **дольного значения предела допускаемой основной погрешности** и также приводятся в техническом описании (паспорте) СИ.

Классы точности присваиваются СИ при их разработке по результатам метрологической аттестации и подтверждаются (или не подтверждаются) при периодических поверках СИ в процессе эксплуатации. Основные правила нормирования погрешностей СИ в соответствии с ГОСТ 8.009-84 можно сформулировать следующим образом:

нормировать следует все свойства СИ, влияющие на точность результатов измерений;

каждое из подлежащих нормированию свойств следует нормировать по отдельности;

способы нормирования должны давать возможность экспериментально проверить соответствие **каждого экземпляра СИ** установленным нормам и притом так, чтобы указанная проверка была возможно более простой;

нормирование должно быть выполнено так, чтобы по установленным нормам можно было **выбирать СИ и оценивать погрешности результатов**

измерений.

Способы нормирования предела допускаемой основной погрешности

Способ выражения предела допускаемой основной погрешности определяется назначением СИ и характером изменения погрешности в пределах диапазона измерения. В общем случае зависимость погрешности от входного сигнала может быть произвольной. Но из всего многообразия СИ по характеру изменения погрешности в пределах измерения можно выделить следующие основные группы:

СИ, для которых *преобладает аддитивная составляющая погрешности*;

СИ, для которых *преобладает мультипликативная составляющая погрешности*;

СИ, для которых *необходимо учитывать* обе (аддитивную и мультипликативную) составляющие погрешности.

В группе СИ, *для которых преобладает аддитивная составляющая погрешности*, предел допускаемой абсолютной погрешности можно записать выражением:

$$\Delta X = \pm a, \text{ где } a = \text{const}. \quad (1.42)$$

В ряде случаев оказывается удобно нормировать предел допускаемой абсолютной основной погрешности с использованием одного числового значения в соответствии с (1.42) (например, для средств измерения линейных размеров - микрометры, штангенциркули и т.п.). Класс точности в этом случае принято обозначать путем указания числа a (как, например, для микрометра $\pm a = 0.01$) либо в виде условных обозначений, в качестве которых используются *римские цифры или прописные буквы латинского алфавита*. Причем классам точности, которым соответствуют меньшие пределы допускаемых погрешностей, *должны соответствовать меньшие цифры или буквы, находящиеся ближе к началу алфавита*.

Но для электроизмерительных приборов нормировать предел допускаемой основной погрешности путем указания одного числового значения в соответствии с (1.42) оказалось не очень удобно, так как при этом трудно сравнивать приборы по точности, если они имеют разные диапазоны измерений или являются многопредельными. Для таких приборов более удобным оказалось нормировать предел допускаемой основной приведенной погрешности γ и выражать его в процентах:

$$\gamma = \frac{\Delta X}{N} 100 [\%], \quad (1.43)$$

где N - нормирующее значение.

Нормирующее значение выбирается в зависимости от особенностей конкретного СИ. В соответствии с ГОСТ 8.401-80 нормирующее значение принимают равным:

конечному значению шкалы прибора X_k для СИ с равномерной шкалой, практически равномерной и степенной шкалой, если нулевая отметка находится на краю или вне шкалы (например, для амперметра со шкалой $0-10\text{ А}$ $N = X_k = 10\text{ А}$);

сумме конечных значений шкалы прибора (без учета знаков), если нулевая отметка находится внутри шкалы (например, для миллиамперметра со шкалой $50-0-100\text{ мА}$ $N = X_{k_1} + X_{k_2} = 50 + 100 = 150\text{ мА}$);

номинальному значению измеряемой величины, если таковое установлено (например, для частотомера, предназначенного для контроля частоты питающей сети со шкалой $45-50-55\text{ Гц}$ $N = X_{ном.} = 50\text{ Гц}$);

длине шкалы (выраженной в мм), если шкала имеет резко сужающиеся деления (логарифмические, гиперболические шкалы, как, например, шкала омметра).

В последнем случае абсолютную погрешность и длину шкалы выражают в одних единицах (в мм).

Для приборов со шкалой, градуированной в единицах ФВ, **для которой принята шкала с условным нулем** (например, для приборов, измеряющих температуру в градусах Цельсия), нормирующее значение принимается равным разности конечного и начального значения шкалы (т.е. диапазону измерений $N = X_k - X_n$).

Приведенная погрешность СИ, определяемая в соответствии с (1.43), может иметь любое значение. Но для того, чтобы упорядочить требования к СИ по точности и ограничить номенклатуру их, конкретное значение приведенной погрешности для присвоения СИ класса точности следует выбирать из ряда чисел, регламентированного ГОСТ 13600 – 68 (выбирается ближайшее число со стороны больших значений):

$1; 1,5; 2; 2,5; 4; 5; 6 * 10^n$, где $n = 1; 0; -1; -2; \dots$

Класс точности указывается в технической документации на СИ и в виде условного обозначения наносится на шкалу или корпус измерительного прибора. Если для СИ нормируется предел допускаемой основной приведенной погрешности в соответствии с (1.43), **то условное обозначение класса точности** представляет собой само число γ , выраженное в % (например, 0,5 или 2,0) во всех случаях, кроме тех, когда СИ имеет резко нелинейную шкалу. Для СИ с резко нелинейной шкалой (когда нормирующее значение N равно длине шкалы) условное обозначение класса точности имеет вид - $\surd 2.5$ или 4.0.

✓ В группе СИ, для которых преобладает мультипликативная составляющая погрешности, предел допускаемой абсолютной погрешности можно записать в виде:

$$\Delta X = \pm bX.$$

Переходя к относительным погрешностям, получаем, **что предел допускаемой основной относительной погрешности** для СИ этой группы (в процентах):

$$\delta_x = \frac{\Delta X}{X} 100 = \pm b [\%], \text{ где } b = \text{const}. \quad (1.44)$$

Для СИ этой группы числовое значение ***b***, выраженное в процентах выбирается из того же ряда чисел и указывается в технической документации в качестве класса точности. Условное обозначение класса точности на шкале или на корпусе прибора имеет вид - **(1.0)**, например.

В группе СИ, для которых необходимо учитывать как аддитивную, так и мультипликативную составляющие погрешности, предел допускаемой абсолютной погрешности можно выразить в виде суммы двух членов:

$$\Delta X = \pm(a + bX),$$

где ***X*** - значение измеряемой величины;

a и ***b*** - положительные числа, не зависящие от ***X***.

Предел допускаемой основной погрешности для приборов этой группы нормируется по величине приведенной погрешности. Нормирующей величиной является конечное значение шкалы - X_k , но приведенная погрешность определяется в двух точках шкалы: при $X = 0$ (начальная отметка шкалы); и при $X = X_k$ (конечная отметка шкалы).

Приведенная погрешность для любой точки шкалы (в процентах):

$$\pm \gamma_x = \frac{a + bX}{X_k} 100 [\%], \quad (1.45)$$

при $X = 0, \gamma_{(X=0)} = \frac{a}{X_k} 100 = \gamma_n [\%];$

при $X = X_k, \gamma_{(X=X_k)} = \left(\frac{a}{X_k} + b \right) 100 = \gamma_k [\%],$

где γ_n - приведенная погрешность в начале шкалы,

γ_k - приведенная погрешность в конце шкалы.

Числовые значения γ_n и γ_k , выраженные в процентах, выбираются из ряда чисел, регламентированных ГОСТом, и приводятся в технической документации в качестве класса точности СИ, включающего аддитивную и мультипликативную составляющую погрешности. Условное обозначение класса

точности на шкале или на корпусе прибора имеет вид дроби - $\frac{\gamma_k}{\gamma_n}$ (например, $0.5/0.2$).

Для средств измерения этой группы *предел допускаемой основной абсолютной* и *предел допускаемой основной относительной* погрешностей могут быть записаны с использованием (1.45) формулами:

$$\begin{aligned} \pm \Delta X &= a + bX = \frac{\gamma_n X_k}{100} + \frac{(\gamma_k - \gamma_n)}{100} X \quad [\text{в ед. ФВ}] \\ \pm \delta_x &= \frac{\Delta X}{X} = \gamma_k + \gamma_n \left(\frac{X_k}{X} - 1 \right) \% \end{aligned} \quad (1.46)$$

где X_k - используемый предел измерения;

X - результат измерения (отсчет по шкале).

Условные обозначения классов точности и формулы для расчета погрешностей результата измерений сведены в таблицу 1.2.

Рассмотренные четыре способа нормирования предела допускаемой основной погрешности наиболее часто используются для средств электрических измерений, но не исчерпывают всех возможных вариантов нормирования предела допускаемой основной погрешности. В обоснованных случаях ГОСТ разрешает устанавливать предел допускаемой основной погрешности по более сложной формуле, или в виде таблицы, или графика.

Как уже упоминалось, пределы допускаемых дополнительных погрешностей нормируются путем указания их связи с пределом допускаемой основной погрешности. Таким образом, класс точности СИ позволяет оценить как допускаемые пределы основной погрешности, так и допускаемые пределы всех дополнительных погрешностей по отдельности, соответствующие рабочим условиям эксплуатации СИ.

В заключение следует подчеркнуть следующее. **Класс точности СИ не является непосредственной характеристикой точности** проведенных с помощью него измерений, **но класс точности позволяет оценить (рассчитать) погрешность** полученного результата. **Класс точности является обобщенной характеристикой точности СИ. Допускаемый предел основной погрешности есть предел суммы систематической и случайной составляющих погрешности СИ**, но поскольку в техническом описании, как правило, отсутствуют сведения о виде закона распределения случайной составляющей погрешности, **принято (если нет других оснований) считать распределение основной погрешности в пределах указанных границ равномерным.**

Примеры обработки результатов прямых обыкновенных измерений

С метрологической точки зрения такие измерения относятся к измерениям с приближенной оценкой погрешностей, так как обработку данных проводят на основе априорных сведений, получаемых путем изучения технического описания (паспорта) СИ перед проведением измерительного эксперимента. К ним относятся сведения о нормальных условиях эксплуатации СИ, сведения о метрологических характеристиках СИ и сведения о возможной методической погрешности, которые можно получить путем анализа условий проведения измерительного эксперимента и сравнения свойств объекта и СИ.

1.3.4. Обработка результатов прямых многократных измерений

Смысл задачи обработки многократных (статистических) измерений состоит в том, чтобы *получить оценку действительного значения измеряемой величины и определить погрешность этой оценки*.

Способ обработки результатов статистических измерений зависит от вида распределения. Наиболее хорошо отработаны методы обработки экспериментальных данных, если их распределение *не противоречит* нормальному закону. Но для того, чтобы этими методами можно было воспользоваться, *необходимо прежде доказать*, что распределение опытных данных не противоречит нормальному закону. Главным фактором, затрудняющим идентификацию закона распределения, является всегда относительно малое количество экспериментальных данных. В этом случае следует максимально использовать априорную информацию о виде распределения погрешностей. Эта информация заключается в том, что кривая плотности распределения *предполагается плавной и симметричной*. Плавной кривая должна быть потому, что (в подавляющем большинстве случаев) сама измеряемая величина является непрерывной. Предположение о симметрии базируется на относительной малости размера погрешности. Его также можно считать справедливым, так как в большинстве случаев, представляющих практический интерес, величина относительной погрешности измерений находится в интервале значений от долей, до нескольких единиц процента. Для того, чтобы использовать вероятностно-статистические методы при обработке результатов многократных измерений, *систематические погрешности должны быть исключены* (т.е. все результаты исправлены), либо должно быть заранее известно, что случайные погрешности много больше систематических. Промахи из совокупности опытных данных должны быть *исключены* экспериментатором.

Задача обработки прямых многократных измерений может формулироваться в двух вариантах:

1. Обработка результатов многократных измерений, *когда заранее известно*, что закон распределения опытных данных нормальный. Количество опытных данных в этом случае может быть $n \geq 4$. Обработка результатов в

этом случае ведется по формулам (1.16-1.22;1.30) и результат представляется в виде (1.31).

2. Обработка результатов многократных измерений, когда закон распределения *заранее неизвестен*. В этом случае вначале **необходимо идентифицировать закон распределения** опытных данных, чтобы затем применить соответствующие вероятностно-статистические методы обработки данных. Для уверенной идентификации закона распределения количество опытных данных n должно быть $n \geq 50$ (хотя эта граница достаточно условна).

Для того, чтобы достаточно обоснованно выдвинуть гипотезу о виде закона распределения, экспериментальные данные группируют и выборку представляют в виде гистограммы, состоящей из r столбцов с определенной протяженностью (h) соответствующих им интервалов. По виду полученной гистограммы и формулируется гипотеза о законе распределения опытных данных, которую затем подтверждают с использованием соответствующего критерия согласия (либо отвергают и выдвигают новую, которую также предстоит затем подтвердить). При построении гистограммы следует соблюдать некоторые общие правила. [8]

Опытные данные упорядочивают (представляют в виде вариационного ряда от X_{\min} до X_{\max} в порядке возрастания), и группируют по интервалам. Ширину интервалов обычно выбирают одинаковой, равной h

$$h = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{r}, \quad (1.47)$$

где r - количество интервалов разбиения.

Число интервалов разбиения нельзя выбирать очень большим или очень малым. При группировании данных в большое число мелких интервалов некоторые из них **окажутся пустыми**. Гистограмма будет иметь “гребенчатый” вид, то есть **резко отличаться** от плавной кривой. Следовательно, если внутри гистограммы получаются пустые интервалы, это, чаще всего, говорит о том, что число интервалов разбиения выбрано слишком большим.

При очень малом числе интервалов будут потеряны характерные особенности опытного распределения. Так, например, при трех интервалах любое колоколообразное распределение сведется к треугольному. Задача оптимального выбора количества интервалов не имеет в общем виде строгого решения. Для практических целей можно выбирать число интервалов r , руководствуясь таблицей 1.3, приводимой ниже [5].

Таблица 1.3

Количество наблюдений в выборке - n	40 – 100	100 - 500	500-1000
Число интервалов разбиения - r	7 – 9	8 - 12	10 - 16

Предпочтительно выбирать r нечетным, чтобы принудительно не уплощать островершинные распределения.

Значение ширины интервала h определенное из (1.47) нужно всегда округлять в большую сторону (например, $h = 0.187$ округляют до $h \approx 0.2$), причем желательно, чтобы h легко делилось на 2 (для определения координат центров столбцов).

Нижняя граница первого интервала не обязательно должна быть равной X_{\min} . Эта граница может быть выбрана несколько меньше X_{\min} но так, чтобы границы всех интервалов получались удобными для построения гистограммы (например, при $X_{\min} = 15.014$ и $h = 0.02$, целесообразно выбрать $X_{1_n} = 15.01$, тогда $X_{1_b} = 15.01 + h = 15.03$ и т.д.)

Масштаб по осям при построении гистограммы рекомендуется выбирать так, чтобы высота графика относилась к его основанию как 3 к 5. При этом общая площадь между осью абсцисс и ступенчатой кривой должна быть равной единице (условие нормировки).

Если из построенной гистограммы следует, что кривая опытного распределения имеет форму близкую к колоколообразной, целесообразно первой проверить гипотезу о нормальности распределения опытных данных.

В качестве примера проверки согласия опытного распределения с теоретическим рассмотрим задачу определения закона распределения отклонения резисторов от номинального значения при их изготовлении.

Исходные данные:

Для выяснения закона распределения отклонений изготовленных резисторов от номинала было проведено измерение точного значения 200 резисторов из одной партии. Номинальное значение резисторов 300 Ом. В результате предварительной обработки результатов измерений получены следующие данные:

Максимальное значение резистора $R_{\max} = 308.97$ Ом;

Минимальное значение резистора $R_{\min} = 287.05$ Ом;

Среднее значение отклонений резисторов от номинального значения $\Delta\bar{R} = -2.84$ Ом;

Среднее квадратическое значение отклонений от номинального значения $S_{\Delta R} = 5.146$ Ом.

Примечание: для экономии места вся совокупность полученных отклонений резисторов здесь не приводится.

Решение:

Для обоснованной формулировки гипотезы о виде закона распределения отклонений резисторов от номинала построим гистограмму опытного распределения, соблюдая все рекомендации, приведенные выше, для чего:

1) Группируем полученные отклонения по интервалам, число которых, в соответствии с рекомендациями п.1.3.4.2, выбираем $r=11$;

2) Определяем ширину интервала, используя (1.47),

$$h = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{r} = \frac{308.97 - 287.05}{11} = 1.993 \text{ (Ом)},$$

или используя максимальные отклонения резисторов от номинала

$$h = \frac{8.97 - (-12.95)}{11} = 1.993 \text{ (Ом)}.$$

Округляя расчетное значение h , принимаем ширину интервала равной $h \approx 2$ Ома;

3) В качестве нижней границы первого интервала для удобства построения гистограммы выбирают не само значение полученного экспериментально отклонения

$$(-\Delta R)_{\max} = 287.05 - 300 = -12.95 \text{ (Ом)},$$

а несколько меньшее число $\Delta R_{1H} = -13$ (Ом);

4) Определив нижнюю границу первого интервала $\Delta R_{1H} = -13$ Ом, определяем границы всех остальных интервалов (например,

$$\Delta R_{1B} = \Delta R_{1H} + h = -13 + 2 = -11; \Delta R_{1B} = \Delta R_{2H};$$

$$\Delta R_{2B} = \Delta R_{2H} + h = -11 + 2 = -9$$

и т.д.) и их середины ΔR_{i0} ;

5) Подсчитываем число отклонений, попавших в каждый интервал m_i^* (частоты) и определяем значение экспериментальной вероятности попадания отклонений в соответствующий интервал (частоты)

$$R_i^* = \frac{m_i^*}{n} \tag{1.48}$$

Все полученные данные и результаты дальнейших промежуточных расчетов заносим (для удобства представления результатов) в таблицу 1.4.

6) Выбрав масштаб по осям, строим гистограмму опытного распределения рисунок 1.9 .

Вид этой гистограммы (сплошные линии на рисунке 1.9) позволяет с большой уверенностью предположить, что закон распределения отклонений резисто-

ров от номинала является нормальным. Для окончательного принятия решения о виде закона распределения воспользуемся критерием согласия χ^2 (или критерием Пирсона).

Для того чтобы использовать критерий согласия χ^2 , сделаем некоторые промежуточные расчеты, результаты, которых также заносим в таблицу 1.4:

7) Определяем нормированную верхнюю границу каждого интервала по формуле

$$Z_{iB} = \frac{\Delta R_{iB} - \Delta \bar{R}}{S_R};$$

8) Воспользовавшись таблицей 2 приложения из методических указаний, находим значение нормированной интегральной функции нормального распределения $\Phi(z_{iB})$ для верхней границы каждого интервала;

9) Используя формулу (1.28) находим теоретическое значение вероятности попадания результатов в соответствующий интервал

$$P_i = \Phi(z_{iB}) - \Phi(z_{iH}) = \Phi(z_{iB}) - \Phi(z_{(i-1)B});$$

10) Находим ту часть общего числа имеющихся результатов измерений, **которая теоретически должна быть** в каждом из интервалов

$$m_i = nP_i,$$

если в какой либо интервал теоретически попадает меньше 5 результатов, то его **в обеих гистограммах** объединяют с соседним. Число интервалов r , определенное в п.1, соответствующим образом изменяется (объединение интервалов при $m_i < 5$ делается по той причине, что табличные значения χ^2 -распределения, которыми предстоит пользоваться, рассчитаны для разных степеней свободы k при условии, что все $m_i \geq 5$).

Для иллюстрации степени различия гистограммы опытного распределения и гистограммы теоретического нормального распределения с тем же количеством интервалов, гистограмма теоретического распределения изображена на рисунке 1.9 пунктирными линиями (данные взяты из табл. 1.4);

11) Для каждого интервала вычисляем меру расхождения опытной и теоретической кривой распределения χ^2

$$\chi_i^2 = \frac{(m_i^* - nP_i)^2}{nP_i} = \frac{(m_i^* - m_i)^2}{m_i} \quad (1.49)$$

и вычисляем величину критерия согласия χ^2

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^{r^*} \chi_i^2,$$

где r^* -число интервалов группирования данных после объединения, ес-

ли таковое происходило;

12) Определяем число степеней свободы для χ^2 -распределения (или распределения Пирсона), которое определяется соотношением

$$K = r^* - s,$$

где s - число независимых связей, наложенных на частоты P_i^* . Числовое значение параметра s определяется видом закона распределения, на соответствии которому проверяется опытное распределение. Для нормального закона $s=3$ и эти связи следующие, для нормального закона распределения мы принимаем условие:

$$M[X] = \bar{X}; \quad D[X] = S_X^2; \quad \sum_{i=1}^r P_i^* = 1 \text{ (условие нормировки)}.$$

Таким образом, для рассматриваемой задачи,

$$k = r - 1 - s = 11 - 1 - 3 = 7;$$

13) Выбираем доверительную вероятность P_δ . С которой будем проверять согласие опытного распределения с теоретическим или, как говорят, выбираем уровень значимости критерия - g ($g = 1 - P_\delta$).

Уровень значимости g должен быть достаточно малым, чтобы была мала вероятность отклонить правильную гипотезу (ошибка первого рода), **но не слишком малым**, чтобы не увеличивать вероятность принятия ложной гипотезы (не совершить ошибку второго рода). Для практических решений задачи согласия распределений рекомендуется выбирать уровень значимости в интервале значений $0.02 \leq g \leq 0.1$ [6].

Для рассматриваемой задачи выбираем $g = 0.02$ (т.е. $P_\delta = 0.98$);

14) По таблицам χ^2 -распределения (таблица 5 приложения в методических указаниях) при уровне значимости $g = 0.02$ и числа степеней свободы $k=7$ находим граничные значения χ^2 ,

$$\chi^2_{\epsilon} = \chi^2_{k; \frac{g}{2}} = \chi^2_{7; 0.01} = 18.475,$$

$$\chi^2_{\eta} = \chi^2_{k; 1 - \frac{g}{2}} = \chi^2_{7; 0.99} = 1.239;$$

15) Принимая во внимание, что

$$(\chi^2_{\eta} = 1.239) < (\chi^2 = 2.694) < (\chi^2_{\epsilon} = 18.474)$$

можем сделать вывод, что распределение опытных данных **не противоречит нормальному закону**, т.е. гипотеза о нормальности закона распределения отклонений резистора от номинального значения **может быть принята**.

Ответ: Закон распределения отклонений резистора от номинального зна-

чения $R_n = 300$ Ом можно с вероятностью $P_0 = 0.98$ считать нормальным со средним квадратическим отклонением $S_{\Delta R} = \pm 5$ Ом.

Рассмотренная в решении примера последовательность действий по применению критерия χ^2 для проверки согласия опытного распределения с теоретическим **входит как составная часть** в общий алгоритм обработки результатов многократных прямых измерений при неизвестном законе распределения.

Алгоритм обработки результатов многократных прямых измерений при неизвестном законе распределения

- 1) Упорядочиваем ряд наблюдений;
- 2) Находим оценку действительного значения измеряемой величины- \bar{X} ;
- 3) Находим оценку среднего квадратического отклонения для ряда наблюдений- S_X ;

- 4) Строим гистограмму опытного распределения (см. п.п. 1-6 примера), и по виду гистограммы **формулируем** гипотезу о виде закона опытного распределения. Как уже говорилось, при колоколообразной форме кривой опытного распределения первой проверяется гипотеза нормального распределения.

- 5) Используя критерий χ^2 проверяем состоятельность выдвинутой гипотезы (см. п.п. 7-14 примера). Если гипотеза о нормальности распределения подтверждается, то дальнейшая обработка ведется по правилам, разработанным для нормального распределенных данных. Результат представляется в форме (1.31).

- 6) Если по виду гистограммы выдвигалась гипотеза о другом виде закона распределения (например, экспоненциальном, равномерном и др.) и она оказалась состоятельной, то оценки числовых характеристик опытного распределения и границы доверительного интервала случайной погрешности можно определить по формулам, приведенным в [5, раздел 6.3.2].

- 7) Если гипотеза о нормальности распределения опытных данных оказалась несостоятельной, а другие гипотезы не выдвигались и не проверялись, то можно определить доверительный интервал случайной погрешности **только при доверительной вероятности $P_{\text{доп}}=0,9$** , пользуясь рекомендациями ГОСТ 11.001-73 и свойствами доверительного интервала при $P_{\text{доп}}=0,9$ (см. п.1.2.2) [8].

1.3.5. Обработка результатов косвенных измерений

Результат косвенного измерения в самом общем случае можно представить зависимостью вида:

$$y = f(x_1; x_2; \dots; x_n) \quad (1.50)$$

При косвенных измерениях измеряется не сама искомая ФВ y , а другие ФВ x_i , связанные с y известным соотношением. Эти другие величины, как и в математике, называются аргументами. Значения аргументов чаще всего находят в результате прямых измерений, но иногда - в результате совместных, совокупных или косвенных измерений. Значения аргументов могут определяться как путем обыкновенных однократных технических измерений (тогда и косвенные измерения называют обыкновенными косвенными измерениями), так и путем многократных статистических измерений. В этом случае косвенное измерение также называется статистическим косвенным измерением.

Функциональная зависимость (1.50) может быть линейной (линейные косвенные измерения) или нелинейной функцией любого вида (нелинейные косвенные измерения).

Специфической особенностью косвенных измерений является **одновременное измерение аргументов**, что позволяет подставить полученные значения аргументов в (1.50) и получить таким образом **значение измеряемой величины, отвечающее моменту времени измерения аргументов**. Измеряя значения аргументов результат всегда получают с некоторой определенной погрешностью, зависящей от метода измерения соответствующего аргумента и используемых СИ. Эта погрешность всегда **может быть оценена**.

Таким образом измеряя значения аргументов находим не действительное значение аргумента $x_{i\text{дсм}}$, а его оценку x_i и оцениваем границы погрешности полученной оценки Δx_i . Для удобства при записи последующих формул обозначим оценку значения аргумента, полученного при измерении его значения $x_{i\text{изм}}$, новым символом - \tilde{x}_i (т.е. $x_{i\text{изм}} = \tilde{x}_i$).

При этом на основании (1.2) справедливо соотношение :

$$\tilde{x}_i = x_{i\text{дсм}} + \Delta x_i$$

В свою очередь Δx_i в общем случае состоит из систематической и случайной составляющих:

$$\Delta x_i = \Delta x_{i\text{см}} + \Delta x_{i\text{сл}} \quad (1.51)$$

Оценку значения функции (результат косвенного измерения) находят подстановкой оценок аргументов в (1.50), т.е.

$$\tilde{y} = f(\tilde{x}_1; \tilde{x}_2; \dots; \tilde{x}_n) \quad (1.52)$$

Задача при обработке результатов косвенных измерений формируется следующим образом.

Если известны оценки значений аргументов \tilde{x}_i и границы абсолютных погрешностей этих оценок Δx_i , то каковы границы абсолютной погрешности **оценки значения функции**, получаемой по формуле (1.52), т.е. **каковы границы абсолютной погрешности результата косвенных измерений**.

Подробно методы нахождения результата косвенных измерений и оценивания его погрешностей изложены в соответствующем нормативном документе, а именно в Методических указаниях РД 50-555-85 “Косвенные измерения. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей”.

Ниже рассматривается решение этой задачи для обыкновенных косвенных измерений, когда значения аргументов находятся путем прямых измерений, корреляционная зависимость между погрешностями измеряемых аргументов отсутствует, а сами погрешности достаточно малы [6].

Уравнение измерений представляет собой явную нелинейную функцию двух аргументов (количество аргументов не меняет общего подхода к решению задачи):

$$y = f(x_1; x_2).$$

Оценки значений аргументов - $\tilde{x}_1; \tilde{x}_2$ и абсолютные погрешности этих оценок - $\Delta x_1; \Delta x_2$ - известны. При этих условиях для решения задачи можно применить математический аппарат высшей математики, используемый для нахождения нового значения функции, которое она получает при малых приращениях аргументов. Как известно, новое значение функции может быть представлено рядом Тейлора:

$$\begin{aligned} \tilde{y} &= f(\tilde{x}_1; \tilde{x}_2) = \\ &= f(x_1; x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 + \\ &+ \frac{1}{2!} \left[\frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \Delta x_1^2 + 2 \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \Delta x_1 \Delta x_2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \Delta x_2^2 \right] + \\ &+ \frac{1}{n!} \left[\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right]^n + R_{n+1}, \end{aligned} \quad (1.53)$$

где R_{n+1} - остаточный член разложения функции в ряд.

Для решения нашей задачи достаточно ограничиться линейным приближением, для чего в (1.53) надо принять $n = 1$.

$$\tilde{y} = f(x_1; x_2) + \left[\frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \right] + R_2 \quad (1.54)$$

где $R_2 = \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x_1^2} \Delta x_1^2 + \frac{1}{2} \frac{\partial^2 f}{\partial x_2^2} \Delta x_2^2 + \frac{\partial^2 f}{\partial x_1 \partial x_2} \Delta x_1 \Delta x_2$ - остаточный член

разложения.

Величина остаточного члена может быть оценена при подстановке в R_2 оценок аргументов \tilde{x}_1 и \tilde{x}_2 . Если при этом оказывается, что величина $\tilde{R}_2(\tilde{x}_1; \tilde{x}_2)$ много меньше, чем Δx_1 и Δx_2 , то остаточным членом прене-

брегают. Таким образом в этом случае оценка результата косвенного измерения может быть записана в виде:

$$\tilde{y} = f(x_1; x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \quad (1.55)$$

Используя (1.55) абсолютную погрешность косвенного измерения Δy находим по общему правилу:

$$\begin{aligned} \Delta y = \tilde{y} - y &= f(x_1; x_2) + \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 - f(x_1; x_2) = \\ &= \frac{\partial f}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial f}{\partial x_2} \Delta x_2 \end{aligned} \quad (1.56)$$

Распространяя полученное выражение на любое число аргументов, абсолютную погрешность нелинейного косвенного измерения можем записать:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n \frac{\partial f}{\partial x_i} \Delta x_i = \sum_{i=1}^n W_i \Delta x_i \quad (1.57)$$

где $\frac{\partial f}{\partial x_i} = W_i$ - частная производная от функции по соответствующему i -му

аргументу, вычисленная при подстановке в нее оценок аргументов \tilde{x}_i , называется **коэффициентом влияния**.

В зависимости от вида функции коэффициенты влияния для некоторых аргументов **могут быть меньше единицы**, а для некоторых из них - **много больше единицы**.

Выражение (1.57) с учетом (1.51) можно переписать в виде:

$$\Delta y = \sum_{i=1}^n W_i \Delta x_{i\text{cm}} + \sum_{i=1}^n W_i \Delta x_{i\text{cl}} \quad (1.58)$$

Как следует из (1.58) при определении погрешности результата косвенных измерений каждый раз приходится решать задачу суммирования систематических и случайных погрешностей аргументов для определения соответствующей погрешности результата.

Важно обратить внимание на некоторые особенности метода определения погрешности результата косвенных измерений. В некоторых случаях нелинейная функция может иметь такой вид, что тот или иной аргумент фигурирует несколько раз и упрощению выражение не поддается. При вычислении коэффициентов влияния в этом случае необходимо после разложения в ряд Тейлора **привести подобные по каждому аргументу члены**. Приведение подобных членов следует выполнять, **сохраняя те знаки**, которые получились при дифференцировании исходной функции. И лишь тогда, когда получена окончательная формула, т.е. формула, в которую погрешность измерения каждого аргумента входит только один раз, можно переходить к числен-

ным расчетам и, смотря по условиям измерительной задачи, располагаться знаками перед слагаемыми.

Исходная формула (1.57), полученная для определения погрешности результата нелинейного косвенного измерения, **пригодна только в том случае, когда погрешности аргументов выражены в абсолютной форме**. Коэффициенты влияния W_i в этом случае являются **размерными величинами** и, после умножения на погрешность соответствующего аргумента, каждое **произведение $W_i \Delta x_i$ должно иметь размерность измеряемой ФВ y** , что является хорошей проверкой правильности проводимых вычислений.

По условиям измерительной задачи погрешности аргументов могут быть только систематическими (с определенным знаком или заданными в виде границ, либо это могут быть неисключенные остатки систематических погрешностей) или только случайными, или иметь обе составляющие. При определении погрешности результата косвенного измерения для суммирования погрешностей аргументов в соответствии с (1.58) следует руководствоваться правилами, изложенными в 1.3.1.

Иногда условиями измерительной задачи погрешности аргументов могут быть заданы в относительной форме, а переход к абсолютным значениям погрешностей невозможен т.к. оценки значений аргументов неизвестны. **В этом случае воспользоваться выражением (1.57) для оценки погрешности результата невозможно и потребуются переход к относительной форме записи погрешности результата косвенного измерения.**

Используя (1.57) и (1.50) относительную погрешность результата можем записать:

$$\delta_y = \frac{\Delta y}{y} = \frac{\sum_{i=1}^n W_i \Delta x_i}{y} \quad (1.59)$$

Разделив каждый член суммы на y и преобразовав полученные выражения для ряда функций можно получить (1.59) в виде:

$$\delta_y = \sum_{i=1}^n W_{отн.i} \delta_{x_i} \quad (1.60)$$

где $W_{отн.i} = \frac{1}{y} \frac{\partial y}{\partial x_i}$ - коэффициент влияния для относительной погрешности измерений i -го аргумента;

δ_{x_i} - относительная погрешность i -го аргумента.

Коэффициенты влияния для относительных погрешностей $W_{отн.i}$ **должны быть безразмерными величинами**, что также является хорошей проверкой правильности проведенных преобразований в соответствии с (1.59).

Правила обработки результатов совместных и совокупных измерений можно найти, при необходимости, в [5,9,11].

2. ОСНОВЫ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Для достижения единства и требуемой точности измерений в стране необходима соответствующая служба - *метрологическая служба страны*. Организационные принципы построения, структура и основные задачи метрологической службы страны регламентированы основополагающим стандартом ГОСТ 1.25-76 "ГСС. Метрологическое обеспечения. Основные положения." [10].

Строгое, устоявшееся определение понятия "метрологическое обеспечение" пока отсутствует. Можно определить это понятие следующим образом.

Метрологическое обеспечение измерений (МО) - деятельность метрологических и других служб, направленная на создание в стране необходимых эталонов, образцовых и рабочих СИ, разработку и установление метрологических правил и норм, выполнение ряда других метрологических работ, необходимых для обеспечения требуемого качества измерений на рабочем месте.

Чтобы эти службы эффективно выполняли стоящие перед ними задачи *необходимо научное, техническое и правовое обеспечение* их деятельности.

Научной основой МО является *метрология - наука об измерениях*.

Техническую основу МО составляют:

- система государственных эталонов единиц ФВ;
- система передачи размеров единиц ФВ от эталонов всем средствам измерений с помощью образцовых СИ и средств поверки;
- система государственных испытаний СИ, обеспечивающая единообразие СИ при разработке и выпуске их в обращение;
- система обязательной поверки и метрологической аттестации СИ;
- система стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов;
- система стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов.

Правовую основу МО составляет *Государственная система обеспечения единства измерений* (ГСИ), представляющая собой комплекс нормативно-технических документов (ГОСТов, методических указаний и т.п.), устанавливающих единую номенклатуру стандартных взаимоувязанных правил и положений, требований и норм, относящихся к организации и методике оценивания и обеспечения точности измерений.

Организационной основой МО является метрологическая служба страны, состоящая из государственной и ведомственной служб. Под метрологической службой подразумевается сеть учреждений и организаций, возглавляемая Госстандартом Российской Федерации.

Рост экономических и культурных связей между странами потребовал решения задач единства измерений и требуемой точности в международном масштабе. Для координации сотрудничества разных стран по вопросам мет-

рологии созданы *международные метрологические организации*. Примером такой организации может служить, например, *Международная организация законодательной метрологии* (МОЗМ).

Для обеспечения единства и требуемой точности измерений в стране с технической точки зрения очень важными являются:

система государственного надзора за состоянием СИ в стране и система передачи размеров единиц ФВ от эталонов всем средствам измерений.

2.1. Система государственного надзора за СИ

Система государственного надзора за состоянием СИ в стране включает систему государственных испытаний СИ и систему обязательной поверки и метрологической аттестации СИ.

Понятия государственные испытания СИ, поверка и метрологическая аттестация требуют более подробного пояснения.

Общие положения системы государственных испытаний регламентирует ГОСТ 8.383 - 80 "ГСИ. Государственные испытания средств измерений. Основные положения."

Система государственных испытаний СИ в настоящее время осуществляется как система мероприятий, осуществляемых с целью управления качеством СИ, выпускаемых в обращение, включающая:

метрологическую экспертизу технических заданий на разработку СИ, проводимую по ГОСТ 8.384 - 80;

государственные приемочные испытания СИ, намеченных к серийному выпуску или ввозу из-за границы партиями;

государственные *контрольные* испытания образцов *выпускаемых* и периодически *ввозимых из-за границы партиями* СИ, проводимые по ГОСТ 8.326 - 78;

метрологическую аттестацию СИ единичного производства, проводимую по ГОСТ 8.326-78;

аттестацию стандартных образцов состава и свойств веществ, проводимую по ГОСТ 8.316-78.

Организацию и проведение государственных испытаний обеспечивают Госстандарт и его территориальные органы. При положительных результатах государственных испытаний дается разрешение на серийный выпуск СИ. Тип средств измерений, утвержденных к выпуску, вносится в государственный реестр. Таким образом, *государственные испытания являются формой утверждения стандартизованных средств измерений*.

Формой утверждения нестандартизованных СИ является *индивидуальная метрологическая аттестация*. К нестандартизованным СИ относятся:

все СИ, *изготовленные или ввезенные из-за границы единичными экземплярами или разовыми партиями*;

единичные экземпляры серийно выпускаемых СИ, применяемые для це-

лей и в условиях, не предусмотренных технической документацией на них.

Метрологическую аттестацию нестандартизованных СИ проводят как органы Госстандарта, так и ведомственные метрологические службы.

С метрологической точки зрения *метрологическая аттестация есть всестороннее исследование СИ с целью выявления его метрологических свойств*. Проверяется также неизменность метрологических свойств СИ во времени и действие влияющих величин на погрешность СИ.

С правовой точки зрения метрологическая аттестация есть акт признания (впервые !) законным конкретного СИ (нового или *в новом качестве*). Метрологическая организация, проводившая метрологическую аттестацию, утверждает также и методику поверки данного СИ в дальнейшем.

Результаты метрологической аттестации оформляются выдачей *свидетельства о метрологической аттестации*, разрешающего использование СИ в том качестве, которое указано в свидетельстве. В свидетельстве указываются значения метрологических характеристик аттестованного СИ и использованные методы исследования с перечислением образцовых средств измерений. Указывается также *установленный* для данного СИ *межповерочный интервал*.

Понятие “поверка” также следует рассматривать с метрологической и правовой точек зрения. С метрологической точки зрения поверка есть сравнение показаний поверяемого СИ с образцовым, достаточное для того, чтобы установить его пригодность для применения в том качестве, которое было установлено для него ранее.

С правовой точки зрения поверка это вид метрологического надзора (контроля) за СИ, ранее признанным законным, при котором периодически через установленный промежуток времени осуществляется правовой акт, устанавливающий, находится ли данное СИ в том ранге, который ему был поверен при метрологической аттестации или государственных испытаниях. Результаты поверки оформляются выдачей *свидетельства о поверке*, нанесением поверочного клейма или иными способами, установленными НТД на методику поверки.

В соответствии с ГОСТ 8.002 - 71 "Организация и порядок проведения поверки, ревизии и экспертизы средств измерений", средства измерений подвергаются первичной, периодической, внеочередной и инспекционной поверке.

Первичная поверка проводится при выпуске СИ в обращение из производства.

Периодическая поверка производится при эксплуатации и хранении СИ через определенные межповерочные интервалы, устанавливаемые для каждого вида СИ.

Внеочередная поверка проводится вне зависимости от сроков периодической поверки в следующих случаях:

когда необходимо удостовериться в исправности СИ;

при вводе в эксплуатацию СИ, поступающих по импорту;
при проведении работ по корректированию межповерочных интервалов;
при контроле результатов периодической поверки;
когда СИ устанавливаются в качестве комплектующих *изделий после истечения половины гарантийного срока на них*;

при *повреждении поверительного* клейма, пломбы или утере документов, подтверждающих прохождение СИ периодической поверки;

при вводе в эксплуатацию после хранения, в течении которого не могла быть проведена периодическая поверка в связи с требованиями консервации СИ.

Инспекционная поверка проводится на предприятиях, складах, базах снабжения и в торговых организациях для выявления состояния (исправность-неисправность) СИ, выпускаемых из производства или ремонта и находящихся в обращении.

Таким образом, *поверка является формой метрологического надзора за СИ*.

Кроме поверки *особыми формами метрологического надзора* за состоянием СИ в стране являются *метрологическая ревизия и метрологическая экспертиза*.

Метрологическая ревизия проводится для определения соответствия СИ и применяемых методик измерений, а также уровня метрологического обеспечения производства современным требованиям народного хозяйства. Метрологической ревизии подвергаются СИ предприятий, осуществляющих изготовление, ремонт, хранение и продажу СИ.

Метрологическая экспертиза проводится для экспертной оценки состояния СИ и правильности их поверки и применения. Метрологическая экспертиза *проводится при возникновении спорных вопросов* по метрологическим свойствам, методам и средствам поверки, исправности СИ и пригодности их к применению.

Все виды метрологического надзора осуществляются единой метрологической службой страны, руководимой Госстандартом РФ.

2.2. Система воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров рабочим средствам

Единство измерений в стране определяется прежде всего *единообразием СИ*. Первым условием единообразия СИ является унификация единиц ФВ, в которых градуируются средства измерений. В стране это обеспечено применением ГОСТ 8.417 - 81 "Единицы физических величин." При выполнении требований этого стандарта оказывается, что *единообразие СИ фактически означает такое их состояние, когда все СИ являются метрологически исправными* (то есть их метрологические характеристики соответствуют установленным нормам). Для достижения такого состояния *СИ необходимо*

регулярно проводить их поверку (в процессе поверки изымаются неисправные СИ либо они заново градуируются). При огромных масштабах отечественного парка СИ эта задача оказывается чрезвычайно трудоемкой. Для ее решения привлекаются *специальные технические, организационные и нормативные средства*.

Техническими средствами являются эталоны, образцовые СИ, поверочные установки и вспомогательные устройства, используемые при проведении поверок. Большое число СИ одной ФВ не позволяет передать им размер единицы с наивысшей точностью от одного исходного средства измерений, которое воспроизводит единицу (от эталона). Поэтому приходится *создавать иерархические системы* технических средств поверки. Технические средства этих систем *расположены в определенном порядке* в соответствии с их точностью и *принимают участие в последовательной* передаче размера единицы от исходного СИ (эталона) всем СИ этой ФВ. Порядок передачи устанавливается нормативно-техническими документами (НТД) специального вида - *поверочными схемами*. Кроме поверочных схем, к нормативным средствам обеспечения единообразия СИ относятся НТД, устанавливающие требования к методикам поверок и правила поверочной деятельности. Эти документы составляют 95% от общего объема метрологических НТД.

Технические и нормативные средства обеспечения единообразия СИ одной ФВ представляют собой упорядоченные системы средств измерений и документов, предназначенные для достижения общей цели.

Такой же упорядоченной системой является *организационные средства обеспечения единообразия СИ*. Они также располагаются в определенной иерархической последовательности в соответствии с порядком передачи размеров единиц. Высший уровень иерархии - метрологические НИИ Госстандарта (хранители эталонов), низший - поверочные лаборатории промышленных предприятий и организаций.

Классификация СИ, предназначенных для воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров, установлена ГОСТ 8.057 - 80 "ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения" и МИ 1318 - 86 "Методические указания. ГСИ. Образцовые средства измерений и установки поверочные. Порядок проведения метрологической аттестации". Классификация эталонов и образцовых СИ по подчиненности приведена на рис. 1.10.

Первичные и специальные эталоны - средства измерений *особой государственной важности*. Они утверждаются в ранге государственных эталонов соответствующим Государственным стандартом. Для *каждого эталона* утверждаются правила его хранения и применения. Хранятся и обслуживаются эталоны в соответствующих НИИ Госстандарта.

МИ 1318 - 86 регламентирует требования к содержанию и применению ОСИ. В отличие от эталонов ОСИ не обязательно уникальные, специально изготавливаемые СИ. В качестве образцовых допускается использование следующих СИ:

выпускаемых по стандарту или техническим условиям на СИ конкретного типа (стандартизованные ОСИ);

импортируемых из-за границы партиями или единичными экземплярами; нестандартизованных (то есть, изготовленных единичными экземплярами);

индивидуально собранных из СИ, которые выпускаются по стандарту или техническим условиям в качестве рабочих СИ широкого назначения.

По своему метрологическому назначению ОСИ не отличаются от рабочих эталонов, *но стоят ниже* в иерархии средств поверки. ОСИ как и эталоны *индивидуально утверждаются*. Формой такого утверждения *является метрологическая аттестация СИ в качестве образцового*. Метрологическая аттестация ОСИ проводится перед вводом их в эксплуатацию, после ремонта или при необходимых изменениях разряда.

Классификация эталонов и образцовых средств измерений по подчиненности.

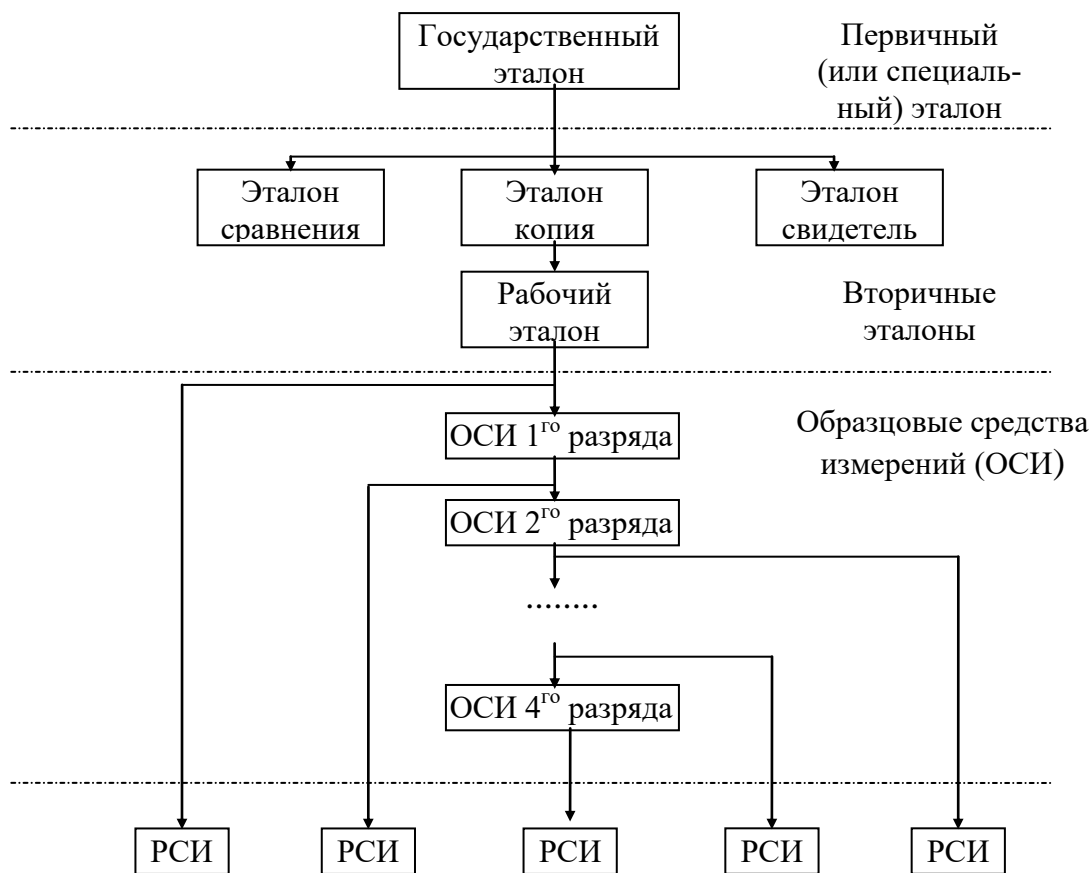


Рисунок 1.10

Рабочие средства измерений (РСИ)

Особой категорией ОСИ являются *стандартные образцы* состава и свойств веществ и материалов. *Стандартные образцы по своему назначению выполняют роль мер*. В отличие от классических мер стандартные образцы реализуются в виде части (порции) однородного материала, которая является полноценным носителем воспроизводимой единицы. Общие требо-

вания к стандартным образцам установлены ГОСТ 8.315 - 78 "ГСИ. Стандартные образцы. Общие положения." В зависимости от порядка утверждения и применения они подразделяются на государственные, отраслевые и образцы предприятий. Быстрое развитие выпуска и применение стандартных образцов привело к созданию Государственной службы стандартных образцов (ГССО) с соответствующим НИИ Госстандарта во главе.

Важнейшим элементом систем воспроизведения единиц ФВ и передачи их размеров являются *поверочные схемы - НТД, определяющие порядок передачи размеров единицы*. Требования к содержанию и построению поверочных схем установлены ГОСТ 8.061 - 80. Различают государственные, ведомственные и локальные поверочные схемы. Государственная поверочная схема - основная. Она распространяется на все СИ данной ФВ. На ее основе составляются все основные поверочные схемы.

Государственные поверочные схемы разрабатываются главными центрами государственных эталонов (метрологическими НИИ Госстандарта, хранителями государственных эталонов) и утверждаются в качестве государственных стандартов. Оформляются поверочные схемы в виде чертежа, состоящего из нескольких горизонтальных полей, соответствующих ступеням передачи размера единицы. В верхнем поле схемы - поле эталонов - указывают наименование эталонов в порядке их соподчиненности. Далее размещают поле ОСИ 1-го разряда и последующих. Нижнее поле поверочной схемы - поле рабочих СИ. Наименование эталонов, образцовых и рабочих СИ заключают в прямоугольники, в которых также дают номинальные значения или диапазоны измерений и характеристики их погрешностей. Наименование *методов поверки* заключают в горизонтальные овалы, которые располагают между прямоугольниками, соответствующими поверяемому СИ и средству его поверки. Здесь же указывают допускаемую погрешность метода поверки. Пример государственной поверочной схемы приведен в приложении 3.

Под методами поверки понимают методы передачи размера единицы. Различают четыре метода поверки:

непосредственное сличение (например, сличение показаний двух стрелочных приборов);

сличение при помощи компаратора или других средств сравнения (например, термостата, эталона сравнения, стандартного образца свойства вещества и др.);

прямые измерения;

косвенные измерения.

Качество поверки СИ, проводимой в соответствии с поверочной схемой, определяется соответствующими показателями. Показатели качества поверки рабочих СИ регламентированы методикой МИ 187 -79 "Критерии качества поверки средств измерений."

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

МЕТРОЛОГИЯ

Наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

ИЗМЕРЕНИЕ

Нахождение значения измеряемой физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

ЕДИНСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристика качества измерений, заключающаяся в том, что их результаты выражены в узаконенных единицах, а погрешности результатов измерений известны с заданной вероятностью и не выходят за установленные пределы.

ТОЧНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристика качества измерения, отражающая близость к нулю погрешности его результата.

1. ФИЗИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

ФИЗИЧЕСКАЯ ВЕЛИЧИНА (ФВ)

Характеристика одного из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общая в качественном отношении многим физическим объектам, но в количественном отношении индивидуальная для каждого объекта.

ИСТИННОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ВЕЛИЧИНЫ

Значение физической величины, которое идеальным образом отражает в качественном и количественном отношениях соответствующую физическую величину.

Это понятие соотносимо с понятием абсолютной истины в философии.

ДЕЙСТВИТЕЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ФВ

Значение ФВ, найденное экспериментальным путем и настолько близкое к истинному значению, что для поставленной измерительной задачи может его заменить.

При поверке средств измерений, например, действительным значением является значение образцовой меры или показание образцового средства измерений.

ФИЗИЧЕСКИЙ ПАРАМЕТР

ФВ, рассматриваемая при измерении данной ФВ как вспомогательная характеристика.

Например, частота при измерении напряжения переменного тока.

ВЛИЯЮЩАЯ ФВ

ФВ, измерение которой не предусмотрено данным средством измерений, но оказывающая влияние на результаты измерений.

РОД ФВ

Качественная определенность **ФВ**.

Длина и диаметр детали - однородные величины; длина и масса детали - неоднородные величины.

ЕДИНИЦА ФВ

ФВ фиксированного размера, которой условно присвоено числовое значение, равное единице, и применяемая для количественного выражения однородных ФВ.

Должно существовать столько единиц, сколько существует ФВ.

Различают основные, производные, кратные, дольные, системные и внесистемные единицы.

СИСТЕМА ЕДИНИЦ ФВ

Совокупность основных и производных единиц физических величин.

ОСНОВНАЯ ЕДИНИЦА СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ

Единица основной ФВ в данной системе единиц.

Основные единицы Международной Системы Единиц СИ: метр, килограмм, секунда, ампер, кельвин, моль, кандела.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЕДИНИЦА СИСТЕМЫ ЕДИНИЦ

Строгого определения нет. В системе СИ - это единицы плоского - радиан - и телесного - стерадиан - углов.

ПРОИЗВОДНАЯ ЕДИНИЦА

Единица производной ФВ системы единиц, образованная в соответствии с уравнением, связывающим ее с основными единицами или же с основными и уже определенными производными единицами.

Единица скорости - метр/секунда.

ВНЕСИСТЕМНАЯ ЕДИНИЦА ФВ

Единица ФВ не входящая ни в одну из принятых систем единиц.

Внесистемные единицы по отношению к системе СИ разделяются на четыре вида:

- 1) допускаемые наравн;.
- 2) допускаемые к применению в специальных областях;
- 3) временно допускаемые;
- 4) изъятые из употребления.

Например:

1) тонна: градус, минута, секунда - единицы угла; литр; минута, час, сутки, неделя, месяц, год, век - единицы времени;

2) в оптике - диоптрия - единица измерения оптической силы; в сельском хозяйстве - гектар - единица площади; в физике электрон-вольт - единица энергии и др.;

3) в морской навигации морская миля, узел; в других областях - оборот в секунду; бар - единица давления (1бар = 100 000 Па);

4) килограмм-сила на квадратный сантиметр; миллиметр ртутного столба; лошадиная сила;

5) центнер и др.

КРАТНАЯ ЕДИНИЦА ФВ

Единица ФВ в целое число раз большая системной или внесистемной единицы.

Например, единица частоты 1 МГц = 1 000 000 Гц

ДОЛЬНАЯ ФВ

Единица ФВ в целое число раз меньшая системной или внесистемной единицы.

Например, 1мкс = 0,000 001с.

2. ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

РАВНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Ряд измерений какой либо величины, выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях.

НЕРАВНОТОЧНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Ряд измерений какой-либо величины, выполненных несколькими различными по точности средствами измерений и(или) в различных условиях.

ОДНОКРАТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение, выполненное один раз.

МНОГОКРАТНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение одного и того же размера ФВ, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящее из ряда однократных измерений.

При числе отдельных измерений $n > 4$ ряд измерений может быть обработан в соответствии с требованиями математической статистики. Это означает, что при четырех измерениях и более, входящих в ряд, измерение можно считать многократным, за результат многократного измерения обычно принимают среднее арифметическое значение из отдельных измерений.

СТАТИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение ФВ, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения.

ДИНАМИЧЕСКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение изменяющейся по размеру **ФВ** и, если необходимо, ее изменения во времени.

ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения с помощью рабочих средств измерений.

МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Измерения при помощи эталонов и образцовых средств измерений с целью воспроизведения единиц ФВ для передачи их размеру рабочим средствам измерений.

ОТНОСИТЕЛЬНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную.

РЯД ИЗМЕРЕНИЙ

Серия следующих друг за другом измерений физической величины.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ СИГНАЛ

Сигнал, содержащий количественную информацию об измеряемой величине.

ОБЪЕКТ ИЗМЕРЕНИЙ

Тело (физическая система, процесс, явление и т.д.), которое характеризуется одной или несколькими измеряемыми или подлежащими измерению физическими величинами.

ОБЛАСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Совокупность измерений физических величин, свойственных какой либо области науки или техники и выделяющаяся своей спецификой.

ВИД ИЗМЕРЕНИЯ

Часть области измерений, имеющая свои особенности и отличающаяся однородностью измеряемых величин.

В области электромагнитных измерений могут быть выделены как виды измерения электрического сопротивления, электродвижущей силы, электрического напряжения, магнитной индукции и др.

ПО ОБЩИМ ПРИЕМАМ НАХОЖДЕНИЯ ЧИСЛОВОГО ЗНАЧЕНИЯ ИЗМЕРЯЕМОЙ ФВ РАЗЛИЧАЮТ:

ПРЯМОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение проводимое прямым методом, при котором искомое значение ФВ получают непосредственно из опытных данных.

КОСВЕННОЕ ИЗМЕРЕНИЕ

Измерение, проводимое косвенным методом, при котором искомое значение ФВ определяют на основании результатов прямых измерений других ФВ (аргументы), функционально связанных с искомой величиной (известная функциональная зависимость).

Во многих случаях вместо термина "косвенное измерение" применяют термин "косвенный метод измерения".

СОВОКУПНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

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

СОВМЕСТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Проводимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними.

3. СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

СРЕДСТВА ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

Обобщающее понятие, охватывающее технические средства, специально предназначенные для измерений.

СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

Техническое средство (или их комплекс), 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.

МЕРА ФВ

Средство измерений, предназначенное для воспроизведения и(или) хранения **ФВ** одного или нескольких заданных размеров, значения которых выражены в установленных единицах и известны с необходимой точностью.

Различают:

- 1) *однозначная мера -мера, воспроизводящая ФВ одного размера;*
- 2) *многозначная мера -мера, воспроизводящая ФВ разных размеров;*
- 3) *набор мер;*
- 4) *магазин мер - набор мер, конструктивно объединенных в единое устройство, в котором имеются приспособления для их соединения в различных комбинациях.*

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Техническое средство, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или сигнал измерительной информации, удобный для обработки, индикации или передачи на расстояние и имеющее нормированные метрологические характеристики.

ПЕРВИЧНЫЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ

Измерительный преобразователь на который непосредственно воздействует измеряемая **ФВ**.

В одном средстве измерения может использоваться последовательное включение нескольких измерительных преобразователей.

ДАТЧИК

Конструктивно обособленный первичный измерительный преобразователь, вынесенный на значительное расстояние от средства измерения, принимающего его сигналы.

СРЕДСТВО СРАВНЕНИЯ

Средство измерений, техническое средство, или специально создаваемая среда, дающие возможность выполнять сличение друг с другом мер однородных величин или же показаний измерительных приборов.

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ ПРИБОР

Средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой **ФВ** в установленном диапазоне.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей и других устройств, предназначенных для измерения одной или нескольких ФВ и расположенных в одном месте.

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА

Совокупность функционально объединенных мер, измерительных приборов, измерительных преобразователей, ЭВМ и других технических средств, размещенных в разных точках контролируемого пространства (среды, объекта и т. п.) с целью измерений одной или нескольких физических величин, свойственных этому пространству (объекту, среде и т. п.).

Различают:

- 1) *измерительная информационная система (ИИС) - измерительная система, предназначенная для целей представления измерительной информации в виде, необходимом потребителю;*
- 2) *измерительная контролирующая система (ИКС) - измерительная система, предназначенная для целей контроля параметров технологического процесса, явления, движущегося объекта и т.п.;*
- 3) *измерительная управляющая система (ИУС) - измерительная система предназначенная для целей автоматического управления технологическим процессом, движущимся объектом и т.п.;*
- 4) *измерительно-вычислительный комплекс (ИВК) - функционально объединенная совокупность средств измерений, ЭВМ и вспомогательных устройств, предназначенная для выполнения в составе ИИС конкретной измерительной задачи.*

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ

Устройства, служащие для обеспечения необходимых внешних условий для выполнения измерений с требуемой точностью.

Например:

- 1) *термостат;*
- 2) *барокамера;*
- 3) *специальные противовибрационные фундаменты;*
- 4) *устройства, экранирующие влияние электромагнитных полей.*

ИЗМЕРИТЕЛЬНАЯ ЦЕПЬ

Совокупность элементов измерительного прибора, образующих непрерывный путь прохождения измерительного сигнала одной физической величины от входа до выхода.

ИЗМЕРИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО

Часть измерительного прибора (установки или системы), имеющая обособленную конструкцию и назначение.

ИНДИКАТОР

Техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо ФВ или определения ее порогового значения.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Характеристика одного из свойств средств измерений, влияющих на результат измерений или его погрешность.

ВАРИАЦИЯ ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Разность показаний прибора в одной и той же точке диапазона измерений при плавном подходе "справа" и подходе "слева" к этой точке.

ДИАПАЗОН ПОКАЗАНИЙ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО ПРИБОРА

Область значений шкалы прибора, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

ДИАПАЗОН ИЗМЕРЕНИЙ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Область значений величины, в пределах которой нормированы допускаемые пределы погрешности средств измерений.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины.

ПОРОГ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Свойство средства измерений, характеризующее наименьшим изменением измеряемой величины, которое вызывает заметное изменение выходного сигнала средства измерений.

ТИП СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Совокупность средств измерений, одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации и технологии.

ВИД СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Совокупность средств измерений, предназначенных для измерений данного вида физической величины.

СРЕДСТВА ПОВЕРКИ

Обобщенное понятие, охватывающее эталоны, образцовые средства измерений, поверочные установки.

4. ПРИНЦИПЫ И МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЙ

ПРИНЦИП ИЗМЕРЕНИЯ

Физическое явление или эффект, положенные в основу измерений тем или иным типом средств измерений.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Прием или совокупность приемов сравнения измеряемой физической величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.

МЕТОД СРАВНЕНИЯ С МЕРОЙ

Метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

НУЛЕВОЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры доводят до нуля.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ ЗАМЕЩЕНИЕМ

Метод сравнения с мерой, в котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой.

МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ ДОПОЛНЕНИЕМ

Метод сравнения с мерой, в котором значение измеряемой величины дополняется мерой этой же величины с таким расчетом, чтобы на прибор воздействовала их сумма, равная заранее заданному значению.

ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ МЕТОД ИЗМЕРЕНИЙ

Метод измерений при котором измеряемая величина сравнивается с однородной величиной, имеющей известное значение, незначительно отличающееся от значения измеряемой величины при котором измеряется разность между этими двумя значениями.

МЕТОДИКА ВЫПОЛНЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Установленная совокупность операций и правил при измерении, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерений в соответствии с данным методом.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ ФВ

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ ФВ

Значение величины, полученное путем ее измерения.

НЕИСПРАВЛЕННЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ

Значение величины, полученное с помощью средства измерений, до внесения в него поправок, учитывающих систематические погрешности.

ИСПРАВЛЕННЫЙ РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЯ

Полученное с помощью средства измерений значение величины и уточненное путем введения в него необходимых поправок на действие предполагаемых систематических погрешностей.

СХОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристика качества измерений, отражающая близость друг к другу результатов измерений одной и той же величины, выполненных повторно одними и теми же средствами, одним и тем же методом, в одинаковых условиях и с одинаковой тщательностью.

ВОСПРОИЗВОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Повторяемость (в пределах установленной погрешности) результатов измерений одной и той же **ФВ**, полученных в разных местах, различными методами, различными средствами, разными операторами, в разное время, но приведенных к одним и тем же условиям измерений (температуре, давлению, влажности и др.).

6. ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ

ПОГРЕШНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЯ

Отклонение результата измерения ($x_{изм}$) от действительного (истинного) значения измеряемой величины ($x_{дст}$), определяемое по формуле

$\Delta x_{изм} = x_{изм} - x_{дст}$, где $\Delta x_{изм}$ - погрешность измерения.

АБСОЛЮТНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

Погрешность измерений, выраженная в единицах измеряемой величины.

АБСОЛЮТНОЕ ЗНАЧЕНИЕ ПОГРЕШНОСТИ

Значение погрешности без учета ее знака.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Погрешность измерения, выраженная отношением абсолютной погрешности измерения к действительному значению измеряемой величины.

СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ

Составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной или же закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же ФВ.

Различают

1. В зависимости от характера изменения:

- *постоянные погрешности - погрешности, которые длительное время сохраняют свое значение, например, в течение времени выполнения всего ряда измерений. Они встречаются наиболее часто;*
- *прогрессивные погрешности - непрерывно возрастающие или убывающие погрешности;*
- *периодические погрешности - погрешности, значение которых является периодической функцией времени или функцией измеряемой величин;*
- *погрешности, изменяющиеся по сложному закону - происходят вследствие совместного действия нескольких систематических погрешностей.*

2. В зависимости от причины появления:

- *инструментальная погрешность измерения - составляющая погрешности измерения, обусловленная погрешностью применяемого средства измерения;*
погрешность метода измерения (теоретическая погрешность) - составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная несовершенством принятого метода измерений;
- *погрешность (измерения) из-за изменений условий измерения - составляющая систематической погрешности измерения, являющаяся следствием неучтенного влияния отклонения в одну сторону какого-либо из параметров, характеризующих условия измерения, от установленного, значения;*
- *субъективная погрешность (личная погрешность, погрешность отсчитывания) - составляющая систематической погрешности измерений, обусловленная индивидуальными особенностями оператора.*

ПОПРАВКА

Значение величины, вводимое в неисправленный результат измерения с целью исключения одной из систематических составляющих погрешностей.

ПРАВИЛЬНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Характеристика качества измерений, отражающая близость к нулю систематических погрешностей результата.

НЕИСКЛЮЧЕННАЯ СИСТЕМАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЛИ НЕИСКЛЮЧЕННЫЙ ОСТАТОК СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ (НСП) – Θ

Составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностью вычисления и погрешностью введения поправок на влияние систематических погрешностей или же систематическая погрешность, поправка на действие которой не введена в следствие малости.

ГРАНИЦЫ НЕИСКЛЮЧЕННОЙ СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЯ $(+ \Theta)И(- \Theta)$

Значение суммы всех отдельных составляющих неисключенной систематической погрешности измерения.

СЛУЧАЙНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ

Составляющая погрешности результата измерения, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) в серии повторных измерений, проведенных с одинаковой тщательностью одного и того же размера **ФВ**.

СРЕДНЕКВАДРАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ЕДИНИЧНОГО ИЗМЕРЕНИЯ (В РЯДУ РАВНОТОЧНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ), S_x

Обобщенная характеристика рассеяния результатов, полученных в ряду независимых равноточных измерений одной и той же **ФВ**, вследствие влияния случайных погрешностей, вычисляемая по формуле

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

где S_x - средняя квадратическая погрешность единичного результата измерений, входящего в ряд n измерений, x_i – результат отдельного измерения в ряду измерений; \bar{x} - среднее арифметическое из n – измерений.

СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ (СРЕДНЕГО АРИФМЕТИЧЕСКОГО) СКП

Характеристика случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерения одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле

$$S_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}}$$

где S_x - средняя квадратическая погрешность единичного результата измерений, полученного из ряда равноточных измерений; n – число отдельных измерений в ряду.

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЙ ИНТЕРВАЛ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

Интервал значений случайной погрешности, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерений.

ДОВЕРИТЕЛЬНЫЕ ГРАНИЦЫ ПОГРЕШНОСТИ РЕЗУЛЬТАТА ИЗМЕРЕНИЙ

Верхняя и нижняя границы доверительного интервала погрешности результата измерений.

Доверительные границы в случае нормального закона распределения вычисляются как $\pm tS$, где S - средняя квадратическая погрешность измерения; t - коэффициент, зависящий от доверительной вероятности P и числа измерений n .

ПРЕДЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ В РЯДУ ИЗМЕРЕНИЙ

Максимальная погрешность измерения (плюс и минус), допускаемая для данной измерительной задачи.

Во многих случаях погрешность $\pm 3S_x$ принимают за предельную, т.е.

$$\Delta_{пр} = \pm 3S_x.$$

7. ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

ПОГРЕШНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Разность между показанием средства измерений и истинным (действительным) значением измеряемой **ФВ**.

По аналогии с погрешностями измерений различают: систематическую, случайную, абсолютную, относительную и приведенную погрешности средств измерений.

ОСНОВНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность средства измерений, определяемая в нормальных условиях его применения.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПОГРЕШНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Составляющая погрешности средства измерений, дополнительно возникающая вследствие отклонения какой либо из влияющих величин от нормального ее значения или вследствие ее выхода за пределы нормальной области значений.

СТАТИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность средства измерений, применяемого при измерении **ФВ**, принимаемой за неизменную.

ДИНАМИЧЕСКАЯ ПОГРЕШНОСТЬ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Погрешность средства измерений, возникающая дополнительно при измерении переменной **ФВ** и обусловленная несоответствием его реакции на скорость (частоту) изменения входного сигнала.

КЛАСС ТОЧНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Обобщенная характеристика средства измерений, выражаемая пределами его допускаемых основной и дополнительной погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

1) Класс точности обычно обозначают числом.

2) Класс точности дает возможность судить о том, в каких пределах находится погрешность средств измерений этого класса, но не является непосредственным показателем точности измерений, выполняемых с помощью этих средств.

НОРМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Условия измерения, характеризуемые совокупностью значений или областей значений влияющих величин, принимаемые за номинальные.

НОРМАЛЬНАЯ ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ВЛИЯЮЩЕЙ ВЕЛИЧИНЫ

Область значений влияющей величины, в пределах которой изменением результата измерений под ее воздействием можно пренебречь в соответствии с установленными нормами точности.

РАБОЧАЯ ОБЛАСТЬ ЗНАЧЕНИЙ ВЛИЯЮЩЕЙ ВЕЛИЧИНЫ

Область значений влияющей величины, в пределах которой нормируют дополнительную погрешность или изменение показаний средства измерений.

8. ЭТАЛОНЫ ЕДИНИЦ ФВ

ЭТАЛОН ЕДИНИЦЫ ФВ

Средство измерений или комплекс средств измерений, предназначенные для воспроизведения и хранения единицы и передачи ее размера нижестоящим по поверочной схеме средствам измерений и утвержденные в качестве эталона в установленном порядке.

ПЕРВИЧНЫЙ ЭТАЛОН

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

- 1) *Первичные эталоны - это уникальные средства измерений, часто представляющие собой сложнейшие измерительные комплексы, созданные с учетом новейших достижений науки и техники на данный период развития измерительной техники. Они составляют основу государственной системы обеспечения единства измерений в стране, к которым, в конечном счете, приводятся измерения всех ФВ.*
- 2) *Многие первичные эталоны утверждаются в качестве государственных эталонов.*

СПЕЦИАЛЬНЫЙ ЭТАЛОН

Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы в особых условиях и служащий для этих условий первичным эталоном.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭТАЛОН

Первичный или специальный эталон, официально утвержденный в качестве исходного для страны.

ВТОРИЧНЫЙ ЭТАЛОН

Эталон, получающий размер единицы путем сличений с первичным эталоном рассматриваемой единицы.

РАБОЧИЙ ЭТАЛОН

Вторичный эталон, применяемый для передачи размера единицы образцовым средствам измерений высшей точности, и в отдельных случаях - наиболее точным рабочим средствам измерений.

ХРАНЕНИЕ ЭТАЛОНА

Совокупность операций, необходимых для поддержания метрологических характеристик эталона в установленных пределах.

ЭТАЛОННАЯ БАЗА СТРАНЫ

Совокупность первичных эталонов, являющаяся основой обеспечения единства измерений.

ОБРАЗЦОВОЕ СРЕДСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

Средство измерений, предназначенное для поверки подчиненных образцовых средств измерений.

ПОВЕРКА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Установление пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и контроля их соответствия установленным требованиям.

Различают: государственную ведомственную, первичную, периодическую и др. поверки средств измерений.

ПЕРЕДАЧА РАЗМЕРА ЕДИНИЦЫ

Приведение размера единицы ФВ, хранимой поверяемым средством измерений, к размеру единицы, воспроизводимой или хранимой эталоном (или ОСИ), осуществляемое при их сличении (поверке).

ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Нормативно-технический документ или технический документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона (или исходного образцового средства измерений) рабочим средствам измерений с указанием методов и погрешности при передаче, утвержденный в установленном порядке.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОВЕРОЧНАЯ СХЕМА

Поверочная схема, распространяющаяся на все средства измерений данной **ФВ**, имеющиеся в стране.

9. МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ СЛУЖБА

Сеть организаций, отдельная организация или отдельное подразделение на которое возложена ответственность за метрологическое обеспечение измерений.

Различают понятия "государственная метрологическая служба", "ведомственная метрологическая служба страны", "метрологическая служба предприятия (организации)".

ПОВЕРОЧНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ

Орган метрологической службы, выполняющий поверку средств измерений в соответствии с предоставленным ему правом.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ

Деятельность метрологических служб, направленная на достижение и

поддержание единства измерений в соответствии с правилами, требованиями и нормами, установленными государственными стандартами и другими нормативно-техническими документами в области метрологии.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СИСТЕМА ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЕДИНСТВА ИЗМЕРЕНИЙ (ГСИ)

Комплекс нормативных, нормативно-технических и методических документов межотраслевого уровня, устанавливающих правила, нормы, требования, направленные на достижение и поддержание единства системы измерений в стране при требуемой точности.

МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИЗМЕРЕНИЙ

Деятельность метрологических и других служб, направленная на создание в стране необходимых эталонов, образцовых и рабочих средств измерений;

правильный их выбор и применение; разработку и применение метрологических правил и норм; выполнение других метрологических работ, необходимых для обеспечения требуемого качества измерений на рабочем месте, предприятии (организации), в министерстве (ведомстве), народном хозяйстве.

МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

Признание средства измерений узаконенным для применения (с указанием его метрологического назначения и метрологических характеристик) на основе тщательных исследований метрологических свойств этого средства.

СВИДЕТЕЛЬСТВО О ПОВЕРКЕ

Документ, выдаваемый поверочным органом в удостоверение того, что средство измерения прошло поверку и соответствует установленным требованиям.

СВИДЕТЕЛЬСТВО О МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ АТТЕСТАЦИИ

Документ, выдаваемый органом метрологической службы в удостоверение того, что средство измерений на основании исследований признается законным для применения в соответствии с его метрологическим назначением (в качестве образцового или уникального рабочего средства измерений).

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ ОБРАЗЦОВ (ГССО)

Сеть организаций различных министерств и ведомств, несущая ответственность за создание и внедрение в народное хозяйство стандартных образцов составов и свойств веществ и материалов с целью обеспечения единства измерений.

ГОСУДАРСТВЕННАЯ СЛУЖБА СТАНДАРТНЫХ СПРАВОЧНЫХ ДАННЫХ (ГСССД)

Сеть организаций различных министерств и ведомств, несущая ответственность за получение и информационное обеспечение народного хозяйства данными о физических константах и свойствах веществ и материалов, основанных на исследованиях и высокоточных измерениях.

Классификация радиоизмерительных приборов

В соответствии с ГОСТ «Приборы электронные радиоизмерительные. Классификация. Наименования и обозначения», все электронные радиоизмерительные приборы и меры электрических величин для них в зависимости от характера измерений и вида измеряемых величин делятся на 20 подгрупп. Каждая подгруппа обозначается прописными буквами русского алфавита и состоит из нескольких видов, обозначаемых цифрами по порядку. Каждому типу прибора присвоены порядковые номера, перед которыми ставится черточка (дефис), например ВЗ-17.

Классификация предусматривает следующие подгруппы и виды приборов:

Подгруппа А. Приборы для измерения силы тока

- А1 - установки или приборы для поверки амперметров
- А2 - амперметры постоянного тока
- А3 - амперметры переменного тока
- А7 - амперметры универсальные
- А9 - преобразователи тока

Подгруппа Б. Источники питания для измерений или измерительных приборов

- Б2 - источники переменного тока
- Б4 - источники калиброванного напряжения и тока
- Б5 - источники постоянного тока
- Б6 - источники с регулируемыми параметрами
- Б7 - источники постоянного и переменного токов универсальные

Подгруппа В. Приборы для измерения напряжения

- В1 - приборы или установки для поверки вольтметров
- В2 - вольтметры постоянного тока
- В3 - вольтметры переменного тока
- В4 - вольтметры импульсного тока
- В5 - вольтметры фазочувствительные (векторометры)
- В6 - вольтметры селективные
- В7 - вольтметры универсальные
- В8 - измерители отношения напряжений и (или) разности напряжений

В9 - преобразователи напряжений

Подгруппа Г. *Генераторы измерительные*

Г1 - установки для поверки измерительных генераторов

Г2 - генераторы шумовых сигналов

Г3 - генераторы сигналов низкочастотные

Г4 - генераторы сигналов высокочастотные

Г5 - генераторы импульсов

Г6 - генераторы сигналов специальной формы

Г8 - генераторы качающейся частоты (свиппгенераторы)

Подгруппа Д. *Аттенюаторы и приборы для измерения ослабления*

Д1 - установки или приборы для поверки аттенюаторов и приборов для измерения ослабления

Д2 - аттенюаторы резисторные; аттенюаторы емкостные

Д3 - аттенюаторы поляризационные

Д4 - аттенюаторы предельные

Д5 - аттенюаторы поглощающие

Д6 - аттенюаторы электрические управляемые

Д8 - измерители ослабления

Подгруппа Е. *Приборы для измерения параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными*

Е1 - установки или приборы для поверки измерителей параметров компонентов и цепей

Е2 - измерители полных сопротивлений и (или) полных проводимостей

Е3 - измерители индуктивности

Е4 - измерители добротности

Е6 - измерители сопротивлений

Е7 - измерители параметров универсальные

Е8 - измерители емкостей

Е9 - преобразователи компонентов и цепей

Подгруппа И. *Приборы для импульсных измерений*

И1 - установки или приборы для поверки приборов для импульсных измерений

И2 - измерители временных интервалов

И3 - счетчики числа импульсов

И4 - измерители параметров импульсов

И9 - преобразователи импульсных сигналов

Подгруппа К. *Комплексные измерительные установки*

- К2 - установки измерительные комплексные
- К3 - установки измерительные комплексные автоматизированные
- К4 - приборы (блоки) комплексных измерительных установок
- К5 - приборы (блоки) комплексных автоматизированных измерительных установок

Подгруппа Л. Приборы общего применения для измерения параметров электронных ламп и полупроводниковых приборов

- Л2 - измерители параметров (характеристик) полупроводниковых приборов
- Л3 - измерители параметров (характеристик) электронных ламп
- Л4 - измерители шумов параметров полупроводниковых приборов

Подгруппа М. Приборы для измерения мощности

- М1 - установки или приборы для проверки ваттметров
- М2 - ваттметры проходящей мощности
- М3 - ваттметры поглощаемой мощности
- М5 - преобразователи приемные (головки) ваттметров

Подгруппа П. Приборы для измерения напряженности поля и радиопомех

- П1 - установки (приборы) для проверки приборов для измерения напряженности поля и радиопомех
- П2 - индикаторы поля
- П3 - измерители напряженности поля
- П4 - измерители радиопомех
- П5 - приемники измерительные
- П6 - антенны измерительные

Подгруппа Р. Приборы для измерения параметров элементов и трактов с распределенными постоянными

- Р1 - линии измерительные
- Р2 - измерители коэффициента стоячей волны
- Р3 - измерители полных сопротивлений
- Р4 - измерители комплексных коэффициентов передач
- Р5 - измерители параметров линий передач
- Р6 - измерители добротности
- Р9 - преобразователи параметров

Подгруппа С. Приборы для наблюдения, измерения и исследования формы

сигнала и спектра

- C1 - осциллографы универсальные
- C2 - измерители коэффициента амплитудной модуляции (модулометры)
- C3 - измерители девиации частоты (девиометры)
- C4 - анализаторы спектра
- C6 - измерители нелинейных искажений
- C7 - осциллографы скоростные, стробоскопические
- C8 - осциллографы запоминающие
- C9 - осциллографы специальные

Подгруппа У. Усилители измерительные

- У2 - усилители селективные
- У3 - усилители высокочастотные
- У4 - усилители низкочастотные
- У5 - усилители напряжения постоянного тока
- У7 - усилители универсальные

Подгруппа Ф. Приборы для измерения фазового сдвига и группового времени запаздывания

- Ф1 - установки или приборы для проверки измерителей фазового сдвига и группового времени запаздывания
- Ф2 - измерители фазового сдвига
- Ф3 - фазовращатели измерительные
- Ф4 - измерители группового времени запаздывания

Подгруппа Х. Приборы для наблюдения и исследования характеристик радиоустройств

- Х1 - приборы для исследования амплитудно-частотных характеристик
- Х2 - приборы для исследования переходных характеристик
- Х3 - приборы для исследования фазо-частотных характеристик
- Х4 - приборы для исследования амплитудных характеристик
- Х5 - измерители коэффициента шума
- Х6 - приборы для исследования корреляционных характеристик
- Х8 - установки или приборы для поверки измерителей характеристик радиоустройств

Подгруппа Ч. Приборы для измерения частоты и времени

- Ч1 -установки для поверки измерителей частоты, воспроизведения образцовых частот, сличения частот сигналов
- Ч2 - частотомеры резонансные
- Ч3 - частотомеры электронно-счетные
- Ч4 - частотомеры гетеродинные; частотомеры емкостные; частотомеры мостовые
- Ч5 - преобразователи частоты сигнала
- Ч6 - синтезаторы частот; делители и умножители частоты
- Ч7 - приемники сигналов эталонных частот; компараторы частотные, фазовые, временные; синхронометры
- Ч9 - преобразователи частоты

Подгруппа Ш. Приборы для измерения электрических и магнитных свойств материалов

- Ш1 - измерители электрических и магнитных свойств материалов на низких частотах
- Ш2 - измерители электрических и магнитных свойств на высоких частотах

Подгруппа Э. Измерительные устройства коаксиальных и волноводных трактов

- Э1 -трансформаторы
- Э2 - переходы, соединители
- Э3 - переключатели
- Э4 - модуляторы
- Э5 - направленные ответвители, разветвители, датчики полных сопротивлений
- Э6 - вентили, циркуляторы
- Э7 - головки детекторные, головки смесительные
- Э8 - фильтры
- Э9 - нагрузки

Подгруппа Я. Блоки радиоизмерительных приборов

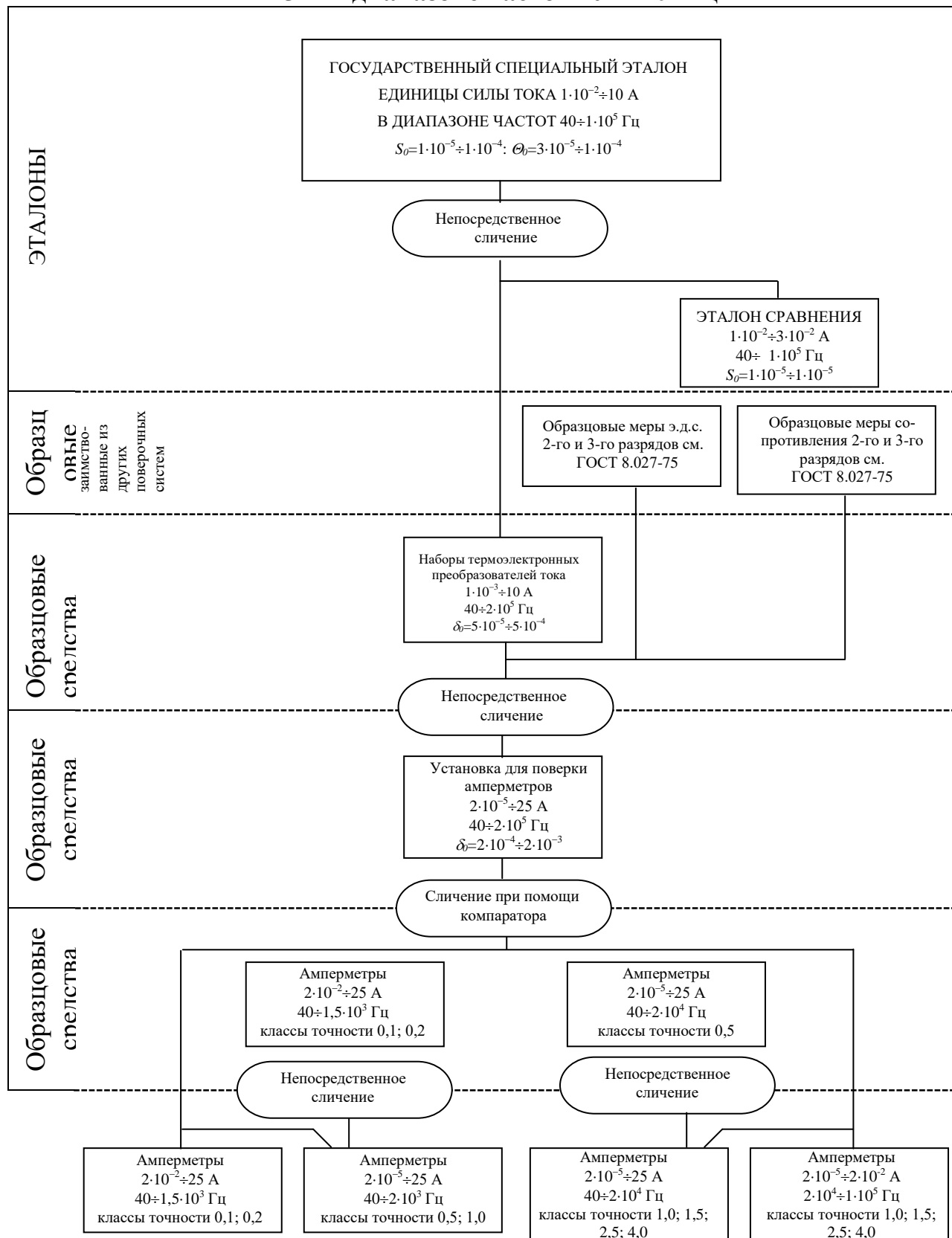
- Я1 - блоки приборов для измерения силы тока, напряжения, параметров компонентов и цепей с сосредоточенными постоянными
- Я2 - блоки измерителей параметров элементов и трактов с распределенными постоянными; блоки приборов для измерения мощности

- Я3 - блоки приборов для измерения частоты и времени; блоки измерителей фазового сдвига и группового времени задержки
- Я4 - блоки приборов для измерения, наблюдения и исследования формы сигналов и спектров
- Я5 - блоки измерителей характеристик радиоустройств и блоки приборов для импульсных измерений
- Я6 - блоки приборов для измерения напряженности поля и радиопомех и блоки усилителей измерительных
- Я7 - блоки измерительных генераторов и приборов для измерения ослабления
- Я8 - блоки источников питания
- Я9 - блоки преобразователей измерительных; блоки для индикации результатов измерений; блоки коммутации

Примечание. Комбинированные приборы, предназначенные для измерения нескольких величин, обозначаются в соответствии с их основным назначением путем добавления к обозначению подгруппы буквы «К». Модернизированные приборы сохраняют свое прежнее обозначение, но после номера модели добавляется прописная буква русского алфавита: А - первая модернизация; Б - вторая и т. д. Приборы, предназначенные для эксплуатации в условиях тропического климата, должны иметь после номера модели букву «Т».

Приложение 3

Общесоюзная поверочная схема для средств измерений силы тока $2 \cdot 10^{-5} \pm 25$ А в диапазоне частот $40 \div 1 \cdot 10^5$ Гц



СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурдун Г.Д., Марков Б.Н. Основы метрологии. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
2. Тюрин Н.Н. Введение в метрологию: Учеб.пособие. - 3 изд. перераб. и доп. – М.: Изд-во стандартов, 1985.
3. Основные термины в области метрологии: Словарь-справочник. Юдин М.Ф., Селиванов М.Н. и др.; Под ред. Ю.В.Тарбеева – М.: Изд-во стандартов, 1989.
4. Тарбеев Ю.В. Эталоны единиц основных ФВ: Учеб.пособие. - Л.: СЗПИ, 1983.
5. Селиванов М.Н., Фридман А.Э., Кдуряшова Ж.Ф. Качество измерений: Метрологическая справочная книга. – Л.: Лениздат, 1987.
6. Рабинович С.Г. Погрешности измерений. – Л.: Энергия, 1978.
7. Маркин Н.С. Основы теории обработки результатов измерений: Учеб.пособие. – М.: Изд-во стандартов, 1991.
8. Новицкий П.В., Зограф Н.А. Оценка погрешностей результатов измерений. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1985.
9. Рего К.Г. Метрологическая обработка результатов технических измерений: Справ. пособие.-К.: Техника, 1987 г.
10. основополагающие стандарты в области метрологии: Справочник, издание официальное.-М.: Изд-во стандартов, 1986.
11. Грановский В.А., Сирая Т.Н. Методы обработки экспериментальных данных при измерениях. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1990.
12. Румшицкий Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента: Справочное руководство. – М.: Наука, 1971.