

**Министерство образования и науки РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Санкт-Петербургский государственный политехнический университет»**

---

**Г.Н.Солопченко**

**МЕТРОЛОГИЯ**

**Конспект лекций  
для студентов электромеханического факультета**

Санкт - Петербург  
Издательство Политехнического университета  
2008

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	стр
1. Введение. Метрология, стандартизация, сертификация	4
2. Метрология и метрологическое обеспечение	4
3. Стандартизация. Определение, цели и организационные основы	8
4. Сертификация. Определение, цели и организационные основы	9
5. Взаимосвязи между метрологией, стандартизацией и сертификацией	10
6. Статистические методы обработки данных при поверке и многократных измерениях	11
6.1. Когда требуется обработка результатов измерений методами математической статистики	11
6.2. Организация эксперимента по поверке (калибровке)	11
6.3. Описание случайных погрешностей с позиций теории вероятностей	17
6.3.1. Вероятность, функция распределения и плотность распределения случайной величины	17
6.3.2. Числовые характеристики случайной величины (случайной погрешности)	19
6.3.3. Примеры плотностей распределения случайных погрешностей	22
6.4. Подготовка массива результатов измерений для статистической обработки	24
6.4.1. Вариационный ряд	24
6.4.2. Выборочная функция распределения	25
6.4.3. Гистограмма	26
6.5. Точечное статистическое оценивание значения измеряемой величины и характеристик погрешности результатов измерений	27
6.5.1. Оценки значения измеряемой величины и характеристик погрешности результатов измерений	27
6.5.2. Оценки характеристик погрешности средств измерений	30
6.6. Интервальное статистическое оценивание	31
6.6.1. Понятие о доверительных интервалах	31
6.6.2. Доверительные интервалы для значения измеряемой величины и для систематической составляющей погрешности средства измерений	32
6.6.3. Доверительные интервалы для среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности средства измерений	34
6.6.4. Доверительные интервалы для интервала $J_p$ , в котором содержится $P_0$ -ая доля всех возможных значений	

случайной составляющей погрешности результатов измерений или средств измерений	35
6.6.4.1. Параметрические доверительные пределы	36
6.6.4.2. Непараметрические доверительные пределы	37
6.6.5. Правила представления результатов измерений и характеристик погрешности	39
6.7. Определение функций преобразования средств измерений по экспериментальным данным	41
6.7.1. Исходные данные	41
6.7.2. Определение функции преобразования	42
6.7.3. Определение коэффициента преобразования линейной функции	44
6.8. Применение методов проверки статистических гипотез при метрологических испытаниях средств измерений (поверке и калибровке)	45
6.8.1. Общие положения теории проверки статистических гипотез	45
6.8.2. Проверка гипотезы о систематической составляющей погрешности средства измерений	47
6.8.3. Проверка гипотезы о среднеквадратическом значении случайной составляющей погрешности средства измерений	50
6.8.4. Проверка гипотезы о погрешности средства измерений, заданной интервалом $J_p$ или $J'_p$	52
6.9. Идентификация плотности распределения случайной составляющей погрешности с помощью проверки статистических гипотез	55
6.9.1. Критерии проверки статистических гипотез о плотности распределения случайной составляющей погрешности	55
6.9.2. Проверка гипотезы $H_0$ по критерию “хи-квадрат”	55
6.9.3. Проверка гипотезы $H_0$ по критерию Колмогорова-Смирнова	56
6.9.4. Проверка гипотезы $H_0$ по критерию $\omega^2$ Мизеса	57
7. Организационные и правовые основы обеспечения единства измерений	58
7.1. Государственное управление обеспечением единства измерений	58
7.4. Передача размеров единиц величин от государственных эталонов рабочим средствам измерений	64
7.5. Метрологическое обеспечение разработки, производства и применения средств измерений	67
7.2. Государственные научные метрологические центры России	73
7.3. Международные метрологические организации	76
8. Стандартизация	78
8.1. Значение стандартизации для общества	78
8.2. Государственная система стандартизации России	80

8.3. Требования к содержанию стандартов на процессы и продукцию	83
8.4. Межгосударственная система стандартизации	86
8.5. Международное сотрудничество в области стандартизации	87
9. Сертификация	88
6.1. Цели и задачи сертификации	88
6.2. Организационная структура службы сертификации	89
6.3. Государственная регистрация, аккредитация и лицензирование	92
Приложение 1. Классификация погрешностей средств измерений и результатов измерений	94
Приложение 2. Содержание типовой методики калибровки	97
Приложение 3. Требования к содержанию стандартов на процессы и на продукцию	101

## 1. Введение.

Перед настоящим курсом лекций в четвертом семестре первому потоку студентам электромеханического факультета был прочитан курс по дисциплине "Измерительная информационная техника", который завершился экзаменом. Настоящий курс основан на прочитанном материале и подкрепляется лабораторными занятиями в объеме 34 часа. Тем не менее допускается частичное цитирование предыдущего курса, поскольку метрология тесно связана с измерительными процессами и с измерительной информационной техникой. Это, в частности, следует из официальных определений метрологии и измерений.

## 2. Метрология и метрологическое обеспечение

Метрология (*metrology*) - сфера деятельности и наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Измерение (*measurement*) - познавательный процесс, заключающийся в нахождении численного значения измеряемой величины (*of a measurand*) опытным путем с помощью специальных технических средств, называемых средствами измерений.

Таким образом измерение является первым этапом получения исходной информации о природных явлениях и о параметрах рукотворных объектов. Качество и достоверность результатов измерений играет основополагающую роль в научных исследованиях, в регулировании технологическими процессами, в испытаниях изделий, в экологическом мониторинге, в медицине, в строительстве, в торговле, при регистрации рекордов. Достоверность результатов измерений и их взаимное признание в сильной степени определяет исход судебного производства, в том числе, международного. Взаимное доверие к результатам измерений, где бы они не производились, достигается путем обеспечения единства измерений в международном масштабе.

Единство измерений (*traceability of a measurement*) - состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Обеспечение единства измерений во всех сферах деятельности есть метрологическое обеспечение этих сфер.

Основной причиной нарушения единства измерений в настоящее время является неконтролируемое превышение погрешностями измерений и измерительных преобразований установленных границ или норм. Классификация погрешностей приведена в приложении 1.

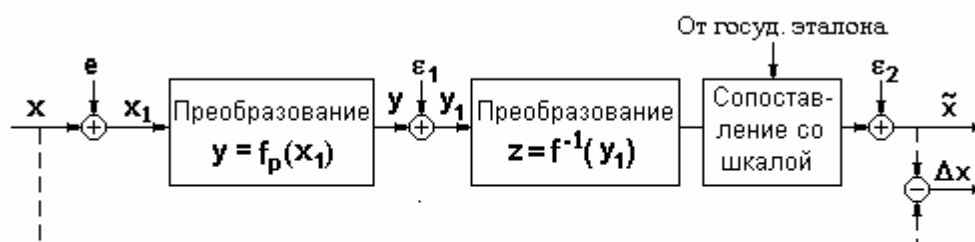


Рис.1. Метрологическая структурная схема прямых измерений в статическом режиме



Рис. 2. Метрологическая структурная схема измерительного преобразования

Напомним о разновидностях погрешностей и о причинах их возникновения с помощью общих метрологических структурных схем прямых измерений и измерительных преобразований, приведенных на рис. 1, 2. Эти схемы отличаются тем, что при измерении результатом является величина  $\tilde{x}$ , однородная с измеряемой  $x$ , отличающаяся от нее на величину абсолютной погрешности  $\Delta x = \tilde{x} - x$ . При измерительном преобразовании выходная величина  $\tilde{y}$  в общем случае неоднородна с входной величиной  $x$  и может представлять собой некоторую функцию  $\tilde{y} = f(x) + \Delta y$  от входной величины. Здесь  $\Delta y$  - абсолютная погрешность преобразования, приведенная к выходу преобразователя. На обоих рисунках через  $e$  обозначена погрешность применения, которая вызвана неадекватной математической моделью объекта и измеряемой величины, взаимодей-

ствием средства измерений с объектом, а также помехами и наводками. Номинальная и реальная функции преобразования обозначены соответственно через  $f(x)$  и  $f_P(x)$ ,  $\varepsilon_1$  и  $\varepsilon_2$  - собственная аддитивная погрешность средства измерения и погрешность передачи единицы измерения от эталона соответственно.

Как известно, погрешности результата измерения или преобразования делятся на инструментальную погрешность и погрешность применения. Инструментальная погрешность определяется метрологическими характеристиками средств измерений, и на эти характеристики устанавливаются нормы, превышение которых влечет за собой изъятие средства измерений из употребления.

За метрологические характеристики и за их сохранность в пределах установленных норм в реальных условиях эксплуатации отвечает разработчик и изготовитель средства измерений. Сохранность этих характеристик в пределах норм при эксплуатации, транспортировании или хранении средств измерений должен контролировать государственный или независимый, но компетентный метрологический орган.

Погрешность применения средства измерений не может быть нормирована. Она вызывается некорректным применением средства измерения и целиком определяется разработанной и применяемой методикой выполнения конкретных измерений. Каждая методика выполнения измерений должна содержать оценку характеристик погрешностей измерений, выполняемых по этой методике.

Контроль сохранности метрологических характеристик и надзор за метрологической корректностью методик выполнения измерений во имя обеспечения единства измерений выполняют международные и региональные метрологические службы отдельных государств или групп государств, например, государств европейского союза.

Метрологическое обеспечение (*metrological assurance*) - установление и применение научных и организационных основ, технических средств, правил и норм, необходимых для достижения единства и требуемой точности измерений, которые выполняются во всех без исключения сферах деятельности человека.

Метрологическое обеспечение отраслей науки и промышленности, экологического мониторинга, здравоохранения, торговли, контроля безопасности, вооружений и судебного производства заключается в выполнении следующих основных функций:

- разработка, изготовление и хранение государственных эталонов, воспроизводящих единицы измеряемых величин,
- осуществление международных сличений государственных эталонов, передача размеров единиц величин рабочим средствам измерений,
- разработка законодательных актов и нормативных документов в области метрологии и практических измерений, контроль за их исполнением,
- разработка и промышленный выпуск рабочих средств измерений,
- контроль за состоянием и сохранностью декларированных производителем метрологических свойств средств измерений, выпускаемых из производства, а также находящихся в эксплуатации или на хранении,
- выполнение рабочих измерений во всех сферах деятельности и в отраслях народного хозяйства,
- разработка методик выполнения измерений, включающих в себя методики оценки характеристик погрешностей результатов измерений, выполнение измерений, контроль за исполнением методик выполнения измерений.

Основным методом контроля сохранности метрологических характеристик является поверка или калибровка средств измерений.

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

Обязательной поверке подвергаются средства измерений, подлежащие обязательному государственному метрологическому контролю и надзору, а также подлежащие утверждению типа.

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

Калибровка выполняется метрологическими службами юридических лиц для собственных нужд. Метрологические службы юридических лиц могут быть аккредитованы государственными научными метрологическими центрами на право выполнения калибровочных работ.



Основным методом контроля за корректностью методик выполнения измерений являются метрологическая экспертиза и метрологическая аттестация этих методик.

### **3. Стандартизация. Определение, цели и организационные основы**

Стандартизация - деятельность по установлению норм, правил и характеристик (требований) в целях обеспечения

- безопасности продукции, работ и услуг для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества,
- безопасности хозяйственных объектов,
- технической и информационной совместимости, а также взаимозаменяемости продукции,
- единства измерений,
- качества продукции, работ и услуг,
- обороноспособности страны.

Государственное управление по стандартизации в Российской Федерации, а также по международному сотрудничеству в области стандартизации осуществляет Федеральное Агентство РФ по стандартизации, метрологии и сертификации посредством формирования государственной политики в этой области, разработки программ по стандартизации, рассмотрения и утверждения проектов стандартов и иных нормативных актов общегосударственного значения, а также путем контроля соблюдения требований стандартов и иных нормативных документов.

Основные работы по разработке отечественных и международных стандартов, ведению фондов нормативных документов и контролю исполнения обязательных требований стандартов общегосударственного и международного значения подлежат обязательному государственному финансированию.

С 01 июля 2003 года в соответствии с Законом РФ "О техническом регулировании" исполнение стандартов является добровольным. Обязательными к исполнению являются технические регламенты, которые разрабатываются техническими и иными комитетами и комиссиями Государственной Думы или по ее поручению предприятиями, организациями и частными лицами. Утверждение

технических регламентов и их пересмотр происходит на заседаниях Государственной думы в соответствии с регламентом ее работы.

#### **4. Сертификация. Определение, цели и организационные основы**

Сертификация - деятельность по подтверждению соответствия объекта сертификации установленным требованиям.

Объектами сертификации может быть продукция, услуги и иные объекты и виды деятельности, качество которых декларировано и нуждается в гарантированном обеспечении.

Обязательная сертификация осуществляется в случаях, предусмотренных законодательными актами Российской Федерации. Обязательной сертификации, в частности, подлежат все работы по обеспечению безопасности жизнедеятельности населения, а также оборудование, используемое в этой работе, в том числе, все средства, применяемые для измерения факторов, угрожающих безопасности.

Обязательная сертификация выполняется, как правило, уполномоченными на то государственными органами или организациями любой формы собственности при условии их аккредитации государственным органом управления.

Добровольная сертификация осуществляется по отношению к деятельности и объектам, не подлежащим обязательной сертификации и выполняется по инициативе юридических лиц и граждан на условиях договора между заявителем и органом по сертификации.

Добровольную сертификацию может осуществлять орган по обязательной сертификации, а также любое юридическое лицо, взявшее на себя такую функцию, установившее правила проведения соответствующих работ и зарегистрированное в Федеральном Агентстве РФ по стандартизации, метрологии и сертификации.

Государственное управление по сертификации продукции и услуг в Российской Федерации в соответствии с указанным Законом осуществляет упомянутое выше Федеральное агентство РФ через органы сертификации, образованные в установленном Законом порядке.

В связи с основной целью сертификации все измерения параметров объектов сертификации, которые объявлены изготовителем (продукции) или испол-

нителем (услуги), должны удовлетворять требованиям системы обеспечения единства измерений, их результаты должны быть взаимно признаваемыми всеми заинтересованными сторонами и арбитражными органами, а потому должны быть метрологически обеспечены и подлежат государственному метрологическому надзору в полном объеме.

## **5. Взаимосвязи между метрологией, стандартизацией и сертификацией**

Из п.п. 2 - 5 видно, что деятельность по части метрологического обеспечения испытаний любого вида, в том числе, сертификационных, собственно процедура сертификации продукции, работ и услуг не может быть успешно реализована вне системы законодательных актов (законов РФ, постановлений, государственных органов, указов Президента РФ) и подчиненных им частных нормативных документов, конкретизирующих общегосударственные акты применительно к отдельным многочисленным частным случаям (конкретным методикам измерений и испытаний, конкретным объектам сертификации). В качестве таких нормативных документов выступают государственные стандарты, методические указания, методики, типовые программы испытаний изделий, технические условия на изделия и т.п. Примером непосредственной связи и взаимозависимости между метрологией, сертификацией и стандартизацией может служить система сертификации средств измерений, предназначенных для измерений при сертификационных испытаниях некоторого изделия по стандартизованной методике, которая, в свою очередь, должна быть подвергнута метрологической экспертизе в соответствии с действующими стандартами.

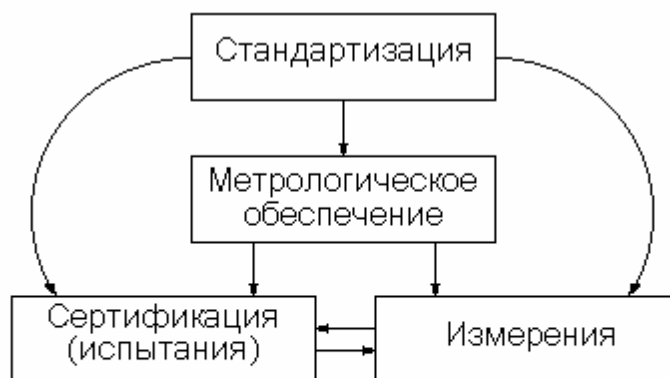


Рис. 3. Взаимосвязи между метрологией, стандартизацией и сертификацией

Описанные связи между стандартизацией, сертификацией и работами по метрологическому обеспечению, в том числе, практическими измерениями показаны на рис. 3.

## 6. Статистические методы обработки данных при поверке, калибровке и многократных измерениях

### 6.1. Когда требуется обработка результатов измерений методами математической статистики?

Потребность в обработке результатов многократных измерений методами математической статистики возникает во всех тех случаях, когда при повторении измерений в одинаковых условиях результаты измерений различаются вследствие

- действия случайных погрешностей применяемых средств измерений,
- при наличии случайных возмущений сигнала измеряемой величины из-за действия помех и пульсаций,
- при воздействии неконтролируемых влияющих величин, изменяющихся случайным образом.

Подобные ситуации могут возникать

- при выполнении рабочих измерений,
- при метрологических испытаниях (поверке или калибровке) средства измерений, когда испытуемое средство измерений или испытательное оборудование или то и другое обладают случайными погрешностями, или когда в испытательном помещении остались неустраненными какие - либо влияющие величины со случайным характером их изменения.

В том и другом случае разброс результатов измерений будет случайным, и подходящим инструментом обработки получаемых результатов является аппарат математической статистики.

Целью статистической обработки результатов многократных измерений является :

- в первом случае - уменьшение случайной составляющей погрешности результата измерения, то есть ее фильтрация, и оценка характеристики случайной составляющей погрешности результата выполненной обработки,

- во втором случае - определение статистических характеристик случайной погрешности испытываемого средства измерений и обеспечение заданной достоверности выводов о метрологической годности или дефектности испытываемого средства измерений.

На языке математической статистики перечисленные цели обработки результатов многократных измерений формулируются, как *оценка вероятностных характеристик* случайных величин и как *проверка статистических гипотез* о вероятностных характеристиках случайных величин.

## **6.2. Организация эксперимента по поверке (калибровке) средств измерений**

Поверка или калибровка средств измерений может быть выполнена *комплектно* или *поэлементно*. *Поэлементная поверка (калибровка)* применяется для многоэлементных средств измерений, состоящих из средств измерений, каждое из которых подвергается экспериментальной *комплектной поверке (калибровке)*, а метрологические характеристики многоэлементного средства измерений в целом определяются или контролируются путем расчета. Такой способ поверки применяется в тех случаях, когда невозможно или нецелесообразно реализовать эксперимент по комплектной поверке (калибровке) средства измерений в целом. Содержание поверки и калибровки практически не различаются и выполняются в соответствии с документом, примерное содержание которого приведено в приложении 2.

В дальнейшем будем рассматривать только комплектный способ поверки (калибровки), когда в одном эксперименте имеется возможность контролировать и измерять входной и выходной сигналы поверяемого (калибруемого) средства измерений.

Применяются два метода комплектной поверки (калибровки): метод "по мере" и метод "по образцовому прибору". Второй из этих методов в метрологическом смысле более корректен. На рис. 4 показаны схемы экспериментов, реализующих методы поверки "по мере" и "по образцовому прибору".

Вначале рассмотрим оба эти метода применительно к поверке (калибровке) измерительного прибора, то есть средства измерения, обладающего шкалой и индикатором, позволяющим оператору непосредственно воспринимать результат измерения. Для стрелочных приборов - это шкала с указателем, для цифрового прибора - цифровое табло. В обязательном нормативном документе "Методика поверки (калибровки)" заданы дискретные значения показаний прибора, при которых следует выполнить поверку. Обозначим эти показания через  $y_0, y_1, \dots, y_j, \dots, y_k$ . Обычно  $k = (6 \div 11)$ . Поскольку показания измерительного прибора  $y_j$  соответствуют значениям измеряемой величины  $x_j$  и выражаются в единицах ее измерения, то в идеальном случае, при отсутствии инструментальной погрешности должно быть:  $y_j = x_j$  при всех  $j = 1, 2, \dots, k$ .

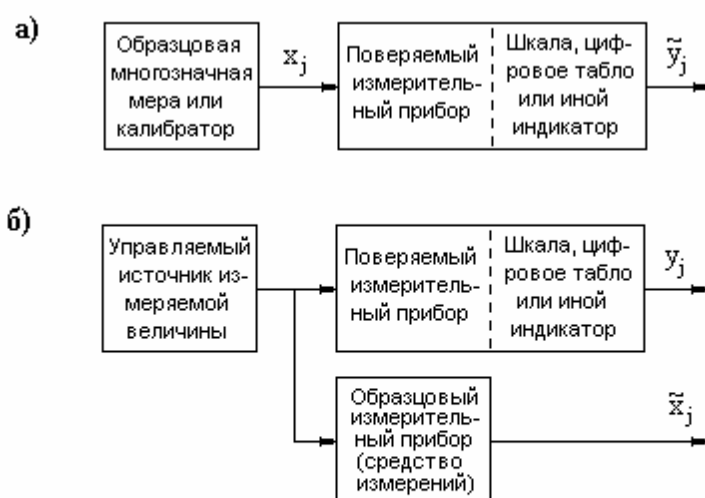


Рис. 4. Схемы поверки измерительного прибора методом "по мере" а) и методом "по образцовому прибору" б)

При поверке (калибровке) "по мере" (схема рис. 4 а) на вход поверяемого прибора от многозначной меры или от калибратора последовательно подаются заданные значения измеряемой величины  $x_0 = y_0, x_1 = y_1, \dots, x_j = y_j, \dots, x_k = y_k$  (прямой ход). Погрешность воспроизведения этих значений не должна превышать  $1/5 \div 1/3$  от ожидаемого предела допускаемой погрешности поверяемого прибора. Условия поверки - нормальные.

Если имеется подозрение на вариацию (гистерезис, сухое трение) поверяемого прибора, то после достижения максимального значения  $y_k$  значение входной величины увеличивают на  $(10 \div 20)\%$ , вновь устанавливают  $x_k = y_k$ , и продолжают эксперимент в обратной последовательности (обратный ход). При каждом установленном значении измеряемой величины вычисляют погрешность  $\Delta y_j = \tilde{y}_j - y_j$  или, что то же самое,  $\Delta y_j = \tilde{y}_j - x_j, j = 1, 2, \dots, k$ , где  $\tilde{y}_j$  - показания поверяемого прибора, содержащие погрешность. Таким образом будет завершен один цикл измерений.

При наличии у поверяемого прибора случайной погрешности выполняется  $n$  циклов измерений. Тогда при каждом значении  $x_j = y_j$  будет получено  $2n$  значений погрешности  $\Delta y_{ji}$ . Для вычисления характеристик погрешности эти значения необходимо обрабатывать статистическими методами.

Метод поверки (калибровки) "по мере" обладает одним недостатком. Дело в том, что погрешность многих приборов не превышает цены минимального деления шкалы (или цены младшего разряда выходного кода - у цифровых приборов). В отдельных случаях погрешность может достигать одного - двух значений цены минимального деления аналоговой или цифровой шкалы. В этих условиях достоверность определения погрешностей будет низкой.

Метод поверки (калибровки) "по образцовому прибору" (схема рис. 4 б) лишен этого недостатка.

При поверке (калибровке) по этому методу на вход испытываемого прибора значение измеряемой величины  $x_j$  подается от регулируемого, но стабильного источника. Значению величины  $x_j$  должно соответствовать показание прибора  $y_j, j = 1, 2, \dots, k$ . Регулировкой добиваются того, чтобы показания испытываемого прибора оказались в точности равными заданным значениям  $y_j$ , соответствующим значениям измеряемой величины  $x_j$ . Добившись каждого из показаний  $y_j$ , с помощью образцового прибора измеряют входную величину и вычисляют значения погрешности испытываемого прибора  $\Delta y_j = y_j - \tilde{x}_j, j = 1, 2, \dots, k$ , где  $\tilde{x}_j$  - показания образцового прибора. Погрешность образцового прибора (средства измерений) не должна превышать  $1/5 \div 1/3$  от ожидаемого предела допускаемой погрешности поверяемого прибора. А раз так, то цена деления

шкалы образцового прибора, как минимум, в три раза меньше, чем у поверяемого, поэтому отсчитывание погрешностей становится точнее, а поверка (калибровка) – достовернее. Условия поверки - нормальные.

Количество циклов измерений и обработка результатов выполняются так же, как и при поверке (калибровке) "по мере". В результате будут получены значения характеристик погрешности, приведенной ко входу.

Поверка (калибровка) измерительного преобразователя (датчика, аналогового, аналого-цифрового, цифроаналогового преобразователя) отличается от поверки (калибровки) прибора в силу следующих причин:

- измерительный преобразователь не имеет шкалы или иного индикатора выходной величины,
- входная и выходная величины преобразователя неоднородны,
- измерительный преобразователь может иметь нелинейную номинальную функцию преобразования  $y = f(x)$ .

По этим причинам схемы экспериментов по поверке преобразователей будут отличаться от схем рис. 4 (см. рис. 5).



Рис. 5. Схемы поверки измерительного преобразователя методом "по мере" а) и методом "по образцовому прибору" б)

Для поверки (калибровки) измерительного преобразователя методом "по образцовому прибору" в документе "Методика поверки (калибровки)" указываются или рассчитываются по номинальной функции преобразования  $y = f(x)$  значения  $y_0, y_1, \dots, y_j, \dots, y_k$ , которые необходимо последовательно устанавли-



вать на выходе преобразователя по показаниям образцового прибора или иного образцового средства измерений. Регулировка осуществляется с помощью управляемого источника входной величины. В этом случае вычисляются погрешности, приведенные ко входу преобразователя :

$$\Delta x_j = \tilde{x}_j - x_j = \tilde{x}_j - f^{-1}(y_j),$$

где  $x_j = f^{-1}(y_j)$  - функция, обратная номинальной функции преобразования, то есть  $x_j$  - решение уравнения  $f(x_j) = y_j$ . Эти значения также должны быть указаны в документе "Методика поверки (калибровки)".

При наличии существенной случайной погрешности  $\Delta y$  испытуемого средства измерений выполняется  $n$  циклов измерений, в результате которых при каждом  $j$  будут получены  $2n$  значений погрешностей  $\Delta x_{ji}, i = 1, 2, \dots, 2n$ .

Для поверки (калибровки) измерительных преобразователей методом "по мере" в документе "Методика поверки (калибровки)" должны быть указаны значения входной величины  $x_0, x_1, \dots, x_j, \dots, x_k$ , которые задаются мерой или калибратором, и расчетные значения выходной величины, вычисляемые по номинальной функции преобразования:  $y_j = f(x_j)$  для каждого  $j = 0, 1, 2, \dots, k$ . Значения  $x_j$  устанавливаются поочередно сначала в сторону увеличения (прямой ход), затем, после небольшого превышения  $x_k$  - в сторону уменьшения (обратный ход). При каждом установленном значении  $x_j$  вычисляются погрешности  $\Delta y_j = \tilde{y}_j - y_j$ , где  $\tilde{y}_j$  - результат измерения выходной величины образцовым средством измерения.

Как и ранее, при необходимости выполняется  $n$  циклов измерений, в результате которых при каждом  $j$  будут получены  $2n$  значений погрешностей  $\Delta y_{ji}, i = 1, 2, \dots, 2n$ , приведенных к выходу поверяемого преобразователя. Все полученные значения погрешностей подвергаются обработке методами математической статистики.

При поверке (калибровке) измерительных преобразователей требования к точности образцовых средств измерений ужесточаются, а именно, погрешность двух образцовых средств измерений, участвующих в поверке (калибровке), в совокупности не должна превышать  $(1/5 \div 1/3)$  от предполагаемой погрешности поверяемого измерительного преобразователя.

Условия поверки (калибровки) должны удовлетворять требованиям к нормальным условиям эксплуатации всех средств измерений, участвующих в поверке (калибровке).

### 6.3. Описание случайных погрешностей с позиций теории вероятностей

#### 6.3.1. Вероятность, функция распределения и плотность распределения случайной величины

Вероятность  $P(A)$  случайного события  $A$  есть мера возможности его осуществления. Если  $A$  - невозможное событие, то  $P(A) = 0$ , и напротив, если  $A$  - достоверное событие, то  $P(A) = 1$ . Для всех промежуточных видов случайных событий  $0 \leq P(A) \leq 1$ .

Пусть  $A$  и  $B$  - случайные события. Случайное событие  $A \cup B$  есть объединение событий  $A$  и  $B$ . Это значит, что случайное событие  $C = A \cup B$  происходит тогда, когда происходит либо событие  $A$  или событие  $B$ . Случайное событие  $D = A \cap B$  есть пересечение событий  $A$  и  $B$ . Это означает, что событие  $D$  происходит тогда, когда одновременно происходят события  $A$  и  $B$ .

Если события  $A$  и  $B$  происходят независимо друг от друга, то вероятность их пересечения равна произведению  $P(A \cap B) = P(A) \cdot P(B)$ . Вероятность объединения событий равна  $P(A \cup B) = P(A) + P(B) - P(A \cap B)$ .

Если события *несовместны*, то есть если появление одного из них исключает появление второго, то  $P(A \cup B) = P(A) + P(B)$ .

Если события  $A_1, A_2, \dots, A_n$  - попарно несовместны, то  $P(A_1 \cup A_2 \cup \dots \cup A_n) = P(A_1) + P(A_2) + \dots + P(A_n)$ . Это свойство называется *аддитивностью вероятностной меры*.

Точно так же, если события  $A_1, A_2, \dots, A_n$  - попарно *независимы*, то есть происходят независимо друг от друга, то  $P(A_1 \cap A_2 \cap \dots \cap A_n) = P(A_1) \cdot P(A_2) \cdot \dots \cdot P(A_n)$ .

Пусть  $\xi$  - *случайная величина* (случайная погрешность). Наиболее полной ее характеристикой является *интегральная функция распределения*  $F(x) = P(\xi \leq x)$ . Понятно, что функция  $F(x)$  монотонно возрастает от 0 до 1, ибо при  $x = -\infty$  мера возможности принять случайной величине хотя бы какое-нибудь значение равна нулю, ибо для этого ей не предоставлено место, то есть

$F(-\infty) = 0$ . С другой стороны, если  $x = +\infty$ , для значений случайной величины предоставлена вся ось, потому в любом случае она примет хотя бы какое-нибудь значение.  $F(+\infty) = 1$ . В промежутке между  $-\infty$  и  $+\infty$  интегральная функция распределения - неубывающая функция, ибо при расширении области возможных значений случайной величины вероятность попасть в эту область может разве лишь возрасти.

Найдем вероятность того, что случайная величина  $\xi$  примет значение в интервале  $(a, b]$ , то есть  $P(a < \xi \leq b)$ . Для этого разделим отрезок  $(-\infty, b]$  на два непересекающихся отрезка  $(-\infty, a]$  и  $(a, b]$ . Два события: "случайная величина  $\xi$  принимает значение из отрезка  $(-\infty, a]$ " и "случайная величина  $\xi$  принимает значение из отрезка  $(a, b]$ " не могут произойти одновременно, значит они не пересекаются или несовместны. Поэтому  $P(-\infty < \xi \leq b) = P(-\infty < \xi \leq a) + P(a < \xi \leq b)$ . Но, по определению,  $P(-\infty < \xi \leq b) = F(b)$  и  $P(-\infty < \xi \leq a) = F(a)$ . А это значит, что  $P(a < \xi \leq b) = F(b) - F(a)$ .

Теперь представим себе, что ось  $OX$  - есть материальный стержень, вес которого по его длине описывается функцией  $F(x)$ . Понятно, что ее удельный вес, то есть плотность не одинакова по длине. Найдем распределение плотности

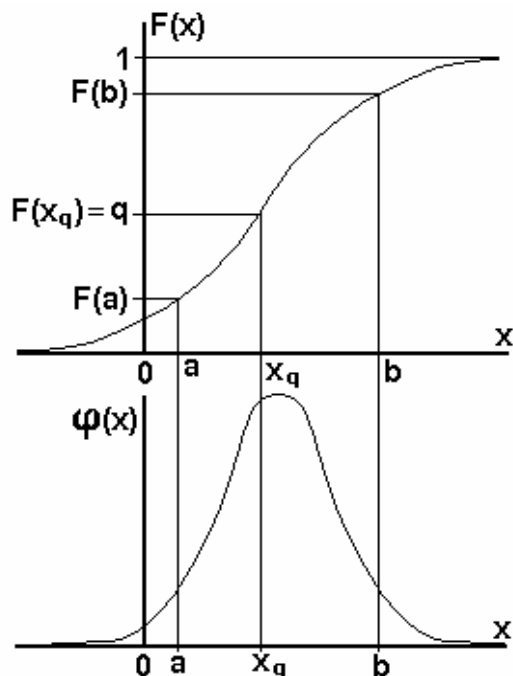


Рис.6. Функция распределения и плотность распределения

этого стержня по его длине. Обозначим искомую плотность через  $\varphi(x)$ . Тогда

$$\varphi(x) = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = \frac{dF(x)}{dx} = F'(x)$$

В связи с выполненными действиями функция  $\varphi(x)$  называется *плотностью распределения вероятностей* случайной величины  $\xi$ . Распространено и иное наименование этой функции, а именно, *закон распределения случайной величины  $\xi$* . Функция распределения  $F(x)$  - неубывающая функция, поэтому плотность распределения  $\varphi(x)$  неотрицательна:  $\varphi(x) \geq 0$ .

Пример графиков функции распределения и плотности распределения случайной величины приведены на рис. 6.

Поскольку плотность  $\varphi(x)$  - производная от функции распределения  $F(x)$ , то  $F(x)$  есть интеграл от плотности, то есть

$$F(b) = \int_{-\infty}^b \varphi(x) dx.$$

Всегда 
$$\int_{-\infty}^{+\infty} \varphi(x) dx = F(+\infty) = 1.$$

Вероятность того, что случайная величина примет значение из интервала  $(a, b]$ , равна  $P(a < \xi \leq b) = F(b) - F(a) = \int_a^b \varphi(x) dx$ , откуда следует, что вероятность того, что непрерывная случайная величина примет конкретное значение, например,  $a$ , равна нулю, ибо при  $a = b$  последний интеграл равен нулю.

### 6.3.2. Числовые характеристики случайной величины (случайной погрешности)

Рассмотрим только те числовые характеристики случайной величины, которые применяются для анализа случайных погрешностей при измерениях и в метрологии.

Первой такой характеристикой является *математическое ожидание случайной величины*. Математическое ожидание называется также первым начальным моментом и обозначается двояко:  $M[\xi]$  или  $\mu_1[\xi]$  и выражается формулой:

$$M[\xi] = \mu_1[\xi] = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot \varphi(x) dx. \quad (1)$$

Для выяснения смысла этой формулы снова перейдем к механической модели оси  $Ox$ . Снова представим эту ось в виде материального стержня, который может вращаться вокруг начала координат и удельный вес (плотность) которого описывается функцией  $\varphi(x)$ . Абсцисса центра тяжести  $x_{цт}$  такого стержня определяется в механике из равенства моментов, как точка приложения равнодействующей силы, момент которой относительно оси вращения равен сумме вращающихся моментов и противоположен им. Равнодействующая сила равна "весу" стержня, то есть интегралу  $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx$ , а сумма вращающихся моментов равна

$\int_{-\infty}^{\infty} x \cdot \varphi(x) dx$ . Поэтому  $x_{\text{цт}} \cdot \int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot \varphi(x) dx$ . Но всегда  $\int_{-\infty}^{\infty} \varphi(x) dx = 1$ ,

значит,  $x_{\text{цт}} = \int_{-\infty}^{\infty} x \cdot \varphi(x) dx$ , что в точности совпадает с выражением для математического ожидания случайной величины  $\xi$ .

Применительно к случайной инструментальной погрешности  $\delta$  средств измерений математическое ожидание  $M[\delta]$  - это *систематическая погрешность*  $\Delta_c$  средства измерений. При многократных измерениях таким средством измерений неизменной величины  $x$  *математическое ожидание результатов измерений*  $\tilde{x}$  - это сумма истинного значения измеряемой величины  $x$  и систематической погрешности средства измерений, то есть  $M[\tilde{x}] = x + \Delta_c$ . Приведенные соображения иллюстрируются рис. 7.

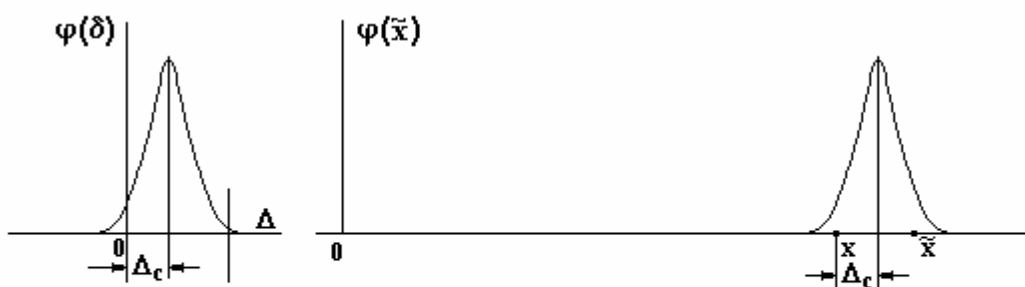


Рис. 7. Плотности распределения случайных погрешностей средства измерений (слева) и результатов многократных измерений (справа)

Мы видим, что математическое ожидание - это характеристика положения плотности распределения случайной величины на оси  $OX$ .

Степень случайности погрешности или результатов измерений определяется шириной плотности распределения. Характеристикой степени случайности является *дисперсия*  $D[\xi]$  случайной величины  $\xi$  или *второй центральный момент*  $\mu[\xi]$ :

$$D[\xi] = \sigma^2[\xi] = \mu[\xi] = \int_{-\infty}^{\infty} (x - M[\xi])^2 \varphi(x) dx, \quad (2)$$

где  $\sigma[\xi]$  - *среднеквадратическое значение* случайной величины  $\xi$ .

Применив механическую аналогию к этому выражению, увидим, что дисперсия случайной величины есть не что иное, как момент инерции фигуры, ог-

раниченной плотностью распределения, относительно ее центра тяжести, то есть математического ожидания. Это следует из того, что момент инерции элементарной массы  $\varphi(x)dx$  пропорционален квадрату ее расстояния от оси вращения, а интеграл справа - сумма моментов инерции элементарных масс. Понятно, что дисперсия не зависит от положения плотности распределения и характеризует лишь степень случайности: чем больше дисперсия, тем шире плотность распределения, тем больший разброс имеет случайная величина, в нашем случае - случайная погрешность средств измерений или результатов измерений.

Наиболее распространенной характеристикой погрешности является *интервал*, за пределы которого значения погрешности не выходят с некоторой вероятностью  $P = (0.9 \div 0.95)$ . Для определения этого интервала необходимо ввести понятие *квантиль*.

Квантилью плотности распределения или случайной величины называется такое значение  $x_q$ , которое удовлетворяет уравнению  $F(x_q) = q$  или эквивалентному уравнению  $P(\xi \leq x_q) = q$ . Такая квантиль показана на рис. 6 и называется  $q \cdot 100$  -процентной квантилью. В частности, 50 - процентная квантиль, соответствующая  $q = 0.5$ , называется *медианой*. Если известны или заданы две квантили  $x_p$  и  $x_q$ , где  $p > q$ , то вероятность  $P(x_q < \xi \leq x_p) = p - q$ . Таким образом, интервальной характеристикой случайной погрешности может служить интервал между двумя квантилями  $x_p$  и  $x_q$ , при условии, что  $P \leq (p - q)$ . Поэтому этот интервал называется интерквантильным промежутком и обозначается  $J_P$ .

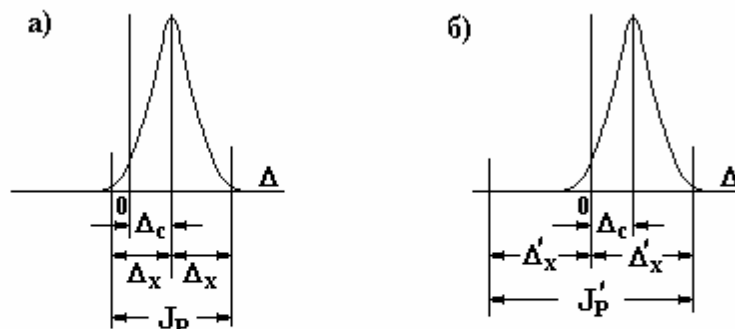


Рис. 8. Интервальные характеристики погрешности средств измерений: симметричные относительно математического ожидания а) и симметричные относительно начала координат б)

При фиксированной вероятности  $P$  такой интервал может быть задан бесконечным количеством способов. В дальнейшем в качестве интервальных характеристик случайных погрешностей мы будем рассматривать два вида однозначно определенных интерквантильных промежутков: промежуток  $J_p$ , симметричный относительно математического ожидания погрешности (см. рис. 8 а) и промежуток  $J'_p$ , симметричный относительно начала координат (см. рис. 8 а). Второй из этих промежутков включает в себя систематическую и случайную погрешности, поэтому он шире промежутка  $J_p$ .

Итак, располагая массивом значений погрешности, полученных опытным путем, нам необходимо методами математической статистики определить три характеристики погрешности: математическое ожидание (систематическую погрешность), дисперсию или среднее квадратическое значение и интерквантильный промежуток.

Прежде, чем переходить к математической статистике, приведем некоторые примеры плотностей распределения случайных величин.

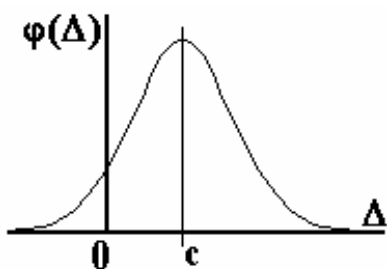
### 6.3.3. Примеры плотностей распределения случайных погрешностей

В примерах систематическая погрешность обозначена через  $c$ , то есть  $c = \Delta_c$ .

#### 1\*. Плотность нормального распределения (нормальный закон)

Плотностью нормального распределения описываются погрешности, вызванные тепловым шумом, а также совместным действием нескольких независимых примерно равнозначных случайных факторов.

График плотности распределения приведен на рис.9. Плотность распределения случайной погрешности  $\delta$  имеет вид



$$\varphi(\delta) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2 \cdot \pi}} \exp \left\{ -\frac{(\Delta - c)^2}{2 \cdot \sigma^2} \right\}. \quad (3)$$

Рис. 9. Плотность нормального распределения

Математическое ожидание погрешности (систематическая составляющая)  $M[\delta] = c$ . Дисперсия случайной составляющей погрешности  $D[\delta] = \sigma^2$ . Среднеквадратическое значение случайной составляющей погрешности равно  $\sigma$ . Интервал  $J_P$ , содержащий  $P$ -ую долю значений случайной составляющей погрешности при  $P_0 = 0.95$

$$J_{0.95} = [c - 1.96 \cdot \sigma, c + 1.96 \cdot \sigma].$$

### 2\*. Плотность равномерного распределения (равномерный закон)

Плотностью равномерного распределения чаще всего описывают погрешность, вызванную округлением результатов измерений, которое неизбежно происходит при аналого-цифровом преобразовании из-за ограниченности количества разрядов аналого-цифрового преобразователя. Пример графика плотности равномерного распределения представлен на рис. 10. Параметрами этой плотности распределения являются: ширина  $2h$  и математическое ожидание  $c$ , то есть систематическая составляющая погрешности.

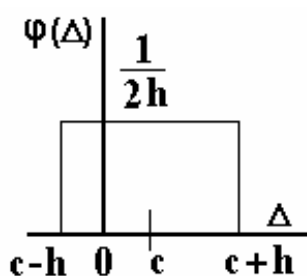


Рис. 10. Плотность равномерного распределения

Дисперсия случайной погрешности, которая распределена в соответствии с этой плотностью, равна  $D[\delta] = h^2/3$ , среднеквадратическое значение погрешности равно  $h/\sqrt{3}$ . Интервал  $J_P$ , содержащий  $P$ -ую долю значений случайной составляющей погрешности при  $P = 0.95$ :

$$J_{0.95} = [c - 0.95 \cdot h, c + 0.95 \cdot h].$$

### 3\*. Плотность треугольного распределения (треугольный закон)



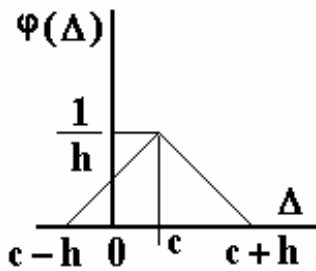


Рис. 11. Плотность  
треугольного распределения

Этой плотностью распределения описывается случайная погрешность, представляющая собой сумму двух независимых равномерно распределенных погрешностей. График плотности треугольного распределения представлен на рис. 11. Математическое ожидание (систематическая составляющая погрешности)  $M[\delta] = c$ , дисперсия погрешности  $D[\delta] = h^2/6$ , среднее квадратическое значение равно  $h/\sqrt{6}$ . Интервал

$J_P$ , содержащий  $P$ -ую долю значений случайной составляющей погрешности при  $P = 0.95$ :

$$J_{0.95} = [c - 0.975 \cdot h, c + 0.975 \cdot h].$$

#### 4\*. Плотность распределения ARCSIN

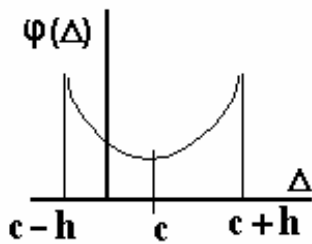


Рис. 12. Плотность  
распределения ARCSIN

Этой плотностью распределения описываются случайные погрешности, вызванные синусоидальными помехами при измерениях, которые выполняются в случайные моменты времени, не синхронизированные с частотой сигнала помехи.

Плотность распределения ARCSIN имеет вид

$$\varphi(\Delta) = \frac{1}{\pi \cdot \sqrt{h^2 - (\Delta - c)^2}}.$$

График плотности распределения представлен на рис. 12. Параметры плотности распределения: математическое ожидание (систематическая составляющая погрешности)  $M[\delta]=c$ , дисперсия погрешности  $D[\delta] = h^2/2$ , среднее квадратическое значение равно  $h/\sqrt{2}$ . Интервал  $J_P$ , содержащий  $P$ -ую долю значений случайной составляющей погрешности при  $P = 0.95$ :

$$J_{0.95} = [c - 0.997 \cdot h, c + 0.997 \cdot h].$$

### 6.4. Подготовка массива результатов измерений для статистической

## обработки

### 6.4.1. Вариационный ряд

Пусть в результате  $n$  измерений величины  $x$  получен массив результатов измерений  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , который на языке математической статистики называется *выборкой*, элементы этого массива называются *выборочными значениями* измеряемой величины, а их количество - *объемом выборки*.

*Вариационный ряд* образуется путем перестановки исходного массива результатов многократных измерений в порядке их возрастания. Такая перестановка получается естественным путем при нанесении результатов на числовую ось. Элементы нового массива получают новые порядковые номера, и эти новые номера заключаются в круглые скобки:

$$x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(n)}. \quad (4)$$

При экспериментальном определении характеристик погрешности исходным массивом является массив выборочных значений погрешности  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ , из которых составляется вариационный ряд

$$\Delta_{(1)}, \Delta_{(2)}, \dots, \Delta_{(n)}. \quad (5)$$

Первый и последний члены вариационного ряда называются *крайними членами вариационного ряда*. Полусумма крайних членов вариационного ряда называется *срединой размаха выборки*:

$$x_{\text{cp}} = (x_{(1)} + x_{(n)}) / 2, \text{ или } \Delta_{\text{cp}} = (\Delta_{(1)} + \Delta_{(n)}) / 2.$$

Средний по положению член вариационного ряда называется *выборочной медианой*. При нечетном  $n$  выборочной медианой для (4) и (5) является

$$\tilde{x}_{\text{med}} = x_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \text{ или } \Delta_{\text{med}} = \Delta_{\left(\frac{n+1}{2}\right)} \text{ соответственно.}$$

Вариационный ряд является основой для построения выборочной функции распределения.

### 6.4.2. Выборочная функция распределения

Выборочные функции распределения  $\tilde{F}(x)$  и  $\tilde{F}(\Delta)$  являются оценками функций распределения результатов многократных измерений величины  $x$ , возмущенной случайными погрешностями, и погрешности  $\delta$  средства измерений соответственно. Выборочные функции распределения строят с целью идентификации истинной функции распределения  $F(x)$  или  $F(\Delta)$ . В дальнейшем, ес-

ли иное не будет оговорено особо, мы будем пользоваться только одним обозначением аргумента функции распределения, поскольку все рассуждения и математические выкладки одинаковы для любых аргументов.

Математическое описание выборочной функции распределения соответствует описанию функции распределения:

$$\tilde{F}(x) = n(x_{(i)} \leq x) / n, \quad (6)$$

где  $n(x_{(i)} \leq x)$  - количество членов вариационного ряда, значение которых не превосходят  $x$ .

Пример графика выборочной функции распределения приведен на рис.13. Из этого графика видно, что выборочная функция распределения есть неубывающая ступенчатая функция с областью изменения  $[0,1]$ . Она возрастает скачком в каждой точке  $x = x_{(i)}$ . Размер каждого скачка равен  $1/n$ .

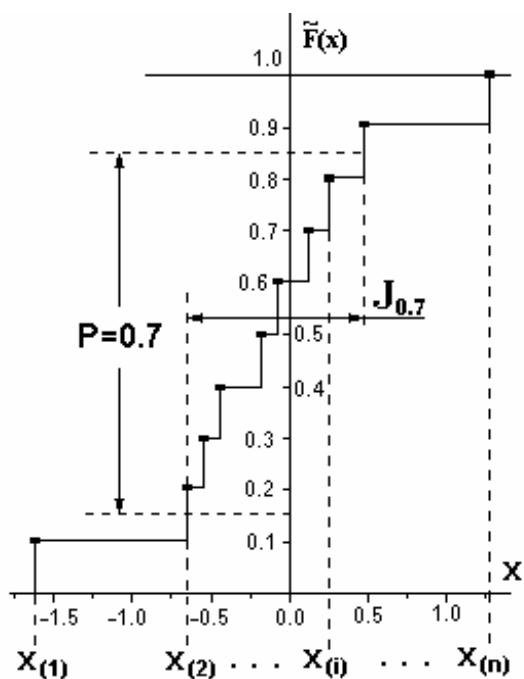


Рис. 13. Пример выборочной функции распределения

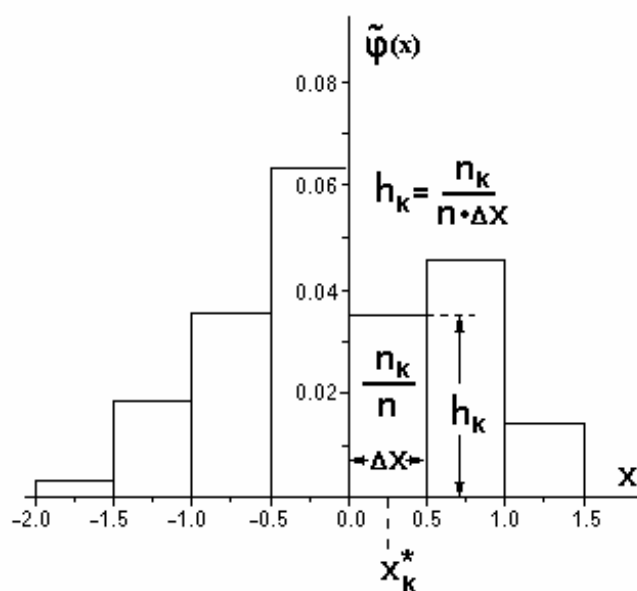


Рис. 14. Пример гистограммы

### 6.4.3. Гистограмма

Статистической оценкой плотности распределения  $\varphi(x)$  или  $\varphi(\Delta)$  служит гистограмма  $\tilde{\varphi}(x)$  или  $\tilde{\varphi}(\Delta)$  соответственно, которая строится по выборочным данным в виде кусочно-постоянной функции. В дальнейшем, как и для выборочной функции распределения, мы будем использовать только одно обозначение аргумента, если иное не будет оговорено особо. Пример гистограммы приведен на рис. 14. Гистограмма состоит из прямоугольников, построенных

на полуоткрытых отрезках  $(x_k, x_{k+1}]$  равной длины  $\Delta x = x_{k+1} - x_k$ , как на основаниях. Высота каждого  $k$ -ого прямоугольника должна быть такой, чтобы его площадь была равна  $n_k / n$ , где  $n_k$  - количество выборочных значений, попавших в  $k$ -ый отрезок  $(x_k, x_{k+1}]$  оси  $Ox$ . Общее количество этих отрезков -  $K$ . Для построения гистограммы необходимо разделить интервал между наименьшим и наибольшим выборочными значениями на отрезки равной длины таким образом, чтобы минимальное количество выборочных значений, находящихся внутри какого-либо из отрезков, было равно от 3 до 5. Если количество выборочных значений внутри  $k$ -го отрезка обозначить через  $n_k$ , то высота прямоугольника, который нужно построить на этом отрезке, как на основании, равна

$$h_k = \frac{n_k}{n \cdot \Delta x} \quad (7)$$

В этом случае площадь фигуры, заключенной между гистограммой и осью абсцисс, будет равна 1.

## **6.5. Точечное статистическое оценивание значения измеряемой величины и характеристик погрешности**

### **6.5.1. Оценки значения измеряемой величины и характеристик погрешности результатов измерений**

Как следует из рис. 7, при наличии случайной составляющей погрешности измерений математическим ожиданием результатов измерений является сумма неизменной во времени измеряемой величины и систематической составляющей погрешности. Наиболее распространенной точечной оценкой математического ожидания является среднее арифметическое значение результатов многократных измерений, то есть выборочных данных:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i = \tilde{x} + \tilde{\Delta}_c x, \quad (8)$$

В равенстве (8) отражено то обстоятельство, что среднее арифметическое значение результатов измерений содержит в себе оценку  $\tilde{x}$  значения измеряемой величины  $x$  и оценку  $\tilde{\Delta}_c x$  систематической погрешности измерений  $\Delta_c$ .

В ряде случаев полезными оценками математического ожидания могут служить выборочная медиана  $\tilde{x}_{med}$  или середина размаха выборки  $x_{cp}$ , которые также будут содержать в себе оценки значений измеряемой величины и систематической погрешности измерений.

Оценка математического ожидания может быть вычислена и по гистограмме:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^K n_k \cdot x_k^* = \tilde{x} + \tilde{\Delta}_c x, \quad (9)$$

где  $x_k^*$  - середины интервалов, на которых построена гистограмма (см. рис. 14).

Эта оценка экономичнее в отношении трудоемкости вычислений, но качество ее хуже, ибо за счет группирования данных часть информации теряется.

При отсутствии систематической составляющей погрешности измерений среднее арифметическое значение есть несмещенная оценка значения измеряемой величины.

Если все повторные измерения выполняются независимо друг от друга, то оценка  $s$  среднеквадратического значения  $\sigma$  случайной составляющей погрешности результата каждого одиночного измерения вычисляется по формуле

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (10)$$

Эта оценка может быть вычислена и по гистограмме:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^K n_k \cdot (x_k^* - \bar{x})^2 + \frac{(\Delta x)^2}{12}}.$$

Известно, что при усреднении  $n$  результатов измерений дисперсия результата уменьшается в  $n$  раз. Поэтому, если в качестве результата измерения величины  $x$  принять  $\bar{x}$ , то оценкой среднеквадратического значения случайной погрешности этого результата будет  $s/\sqrt{n}$ , то есть

$$s_{\bar{x}} = \frac{s}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}. \quad (11)$$

Это означает, что усреднение результатов многократных измерений неизменной во времени величины есть вид фильтрации случайных погрешностей и помех.

Точечные оценки границ интервала  $J_P$ , в котором содержится не менее  $P$ -ой доли всех возможных значений случайной составляющей погрешности результатов однократных измерений, определяются по выборочной функции распределения. На рис. 13 показан пример определения границ интервала  $J_P$ , для  $P = 0.7$ , который содержит 70% значений случайных погрешностей измерений. Из рисунка видно, что точечными оценками границ подобных интервалов для любых значений  $P$  всегда будут выборочные значения, они же - члены вариационного ряда

$$[x_{(k)}, x_{(n-r)}] \quad (12)$$

Если сдвинуть этот интервал по оси абсцисс на значение оценки  $\bar{x}$ , получим искомые точечные оценки границ интервала  $J_P$ , содержащего только случайную составляющую погрешности однократных измерений:

$$\tilde{J}_P = [x_{(k)} - \bar{x}, x_{(n-r)} - \bar{x}]. \quad (13)$$

Из этого же рисунка видно также, что для уверенного определения границ интервала  $J_P$ , соответствующего вероятности  $P$ , достаточно близкой к 1, необходимо, чтобы величина скачков выборочной функции распределения была не больше значения  $(1-P)/2$ :  $1/n \leq (1-P)/2$ , откуда следует, что количество измерений, которые для этого требуется выполнить, должно удовлетворять условию:

$$n \geq 2/(1-P). \quad (14)$$

Например, если  $P=0.95$ , то  $n \geq 40$ . Такое значительное количество измерений есть “плата” за то, что здесь не используется такая богатая информация, как информация о плотности распределения вероятностей случайной составляющей погрешности. Если же вид этой плотности распределения известен, то *точечные оценки* искомых границ можно получить при меньшем объеме выборки, достаточном для точечной оценки среднеквадратического значения погрешности. В этих условиях для плотностей распределений, приведенных в п. 6.3.3, и вероятности  $P = 0.95$  можно записать:

- для плотности нормального распределения

$$\tilde{g} = 1.96s, \quad \tilde{J}_{0.95} = [-1.96s, +1.96s], \quad (15)$$

- для плотности равномерного распределения

$$\tilde{g} = 1.65s, \quad \tilde{J}_{0.95} = [-1.65s, +1.65s], \quad (16)$$

- для плотности треугольного распределения

$$\tilde{g} = 2.4s, \quad \tilde{J}_{0.95} = [-2.4s, +2.4s], \quad (17)$$

- для плотности распределения ARCSIN

$$\tilde{g} = 1.41s, \quad \tilde{J}_{0.95} = [-1.41s, +1.41s], \quad (18)$$

где  $\tilde{g}$  - точечные оценки полуширины  $g$  интервалов  $J_P$ , показанных на рис. 24,  $s$  - точечная оценка среднеквадратического значения  $\sigma$  случайной погрешности.

Эти оценки называются *параметрическими оценками*, поскольку они вычисляются через оценки параметров плотностей распределений, и для их при-

менения необходима информация о виде плотности распределения. Оценки вида (12), (13) называются *непараметрическими оценками* и не зависят от вида плотности распределения.

Понятно, что, если в качестве результата измерения величины  $x$  принять  $\bar{x}$ , то ширина интервала неопределенности уменьшится примерно в  $\sqrt{n}$  раз. В частности, в случае, когда погрешности результатов однократных измерений распределены нормально, тогда точечные оценки границ интервала  $J_P$ , соответствующего вероятности  $P = 0.95$ , будут :

$$\tilde{J}_{0.95} = \left[ -1.96 \frac{s}{\sqrt{n}}, + 1.96 \frac{s}{\sqrt{n}} \right], \quad (19)$$

В силу того, что плотность распределения суммы независимых случайных величин с увеличением их количества стремится к плотности нормального распределения, то уже начиная с  $n=(10\div 15)$  оценки (19), могут быть применены независимо от вида плотности распределения случайной составляющей погрешности.

### 6.5.2. Оценки характеристик погрешности средств измерений

В соответствии с действующими метрологическими нормативными документами характеристики погрешности определяются и контролируются в отдельных точках диапазона измерений, которые обычно указываются в разделе “Методы и средства поверки” технических условий и (или) стандартов на испытываемые средства измерений.

При метрологических испытаниях средств измерений (при поверке или калибровке) эксперимент осуществляется таким образом, что в результате формируется массив выборочных значений погрешности в каждой из заданных точек диапазона (шкалы). Каждый элемент этого массива есть разность между показанием (или выходным сигналом) испытываемого средства измерения и показанием (выходным сигналом) образцового средства измерения (эталоны, меры, калибратора), точность которого, по крайней мере, в три - пять раз выше. Таким образом, в каждой точке диапазона измерений исходным материалом для обработки служат выборочные значения  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$ , из которых затем составляется вариационный ряд  $\Delta_{(1)}, \Delta_{(2)}, \dots, \Delta_{(n)}$ . В этих значениях содержатся обе составляющие: систематическая и случайная. По ним значениям строится выборочная функция распределения и гистограмма, которые служат для идентификации вида плотности распределения случайной составляющей погрешности и для оценки некоторых ее характеристик. По выборочным значениям погрешно-

стей вычисляются точечные оценки характеристик погрешности средства измерений:

$$\bar{\Delta} = \frac{l}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \Delta_i, \quad s = \sqrt{\frac{l}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta_i - \bar{\Delta})^2}. \quad (20)$$

Оценки  $\bar{\Delta}$  и  $s$  могут быть вычислены также и по гистограмме по аналогии с (9), (11).

Среднее арифметическое значение  $\bar{\Delta}$  - точечная оценка систематической составляющей погрешности  $\Delta_c$  средства измерений,  $s$  - оценка среднеквадратического значения  $\sigma$  случайной составляющей погрешности средства измерений. В ряде случаев для точечного оценивания систематической составляющей погрешности используются выборочная медиана  $\tilde{\Delta}_{\text{med}}$  или середина размаха  $\Delta_{\text{cp}}$ . Точечные оценки границ интервала  $\mathbf{J}_P$  вычисляются по формулам (15) – (18) и в общем виде могут быть выражены следующим образом:

$$\tilde{J}_P = [-q \cdot s, +q \cdot s],$$

где  $q$  - множитель, зависящий от значения вероятности  $P$  и от вида закона распределения погрешности,  $q \cdot s = \tilde{g}$  - полуширина интервала  $\tilde{J}_P$ ,

В случаях, когда погрешность средства измерений нормируется без разделения на систематическую и случайную составляющие, определению подлежат границы интервала  $\mathbf{J}'_P$ . В качестве оценки  $\tilde{g}'$  полуширины этого интервала принимают наибольшее по модулю значение:

- при непараметрическом оценивании

$$\tilde{g}'_{\text{max}} = \max[|\Delta_{(l+k)}|, |\Delta_{(n-r)}|], \quad (21)$$

- при параметрическом оценивании

$$\tilde{g}'_{\text{max}} = \max[|\bar{\Delta} - q \cdot s|, |\bar{\Delta} + q \cdot s|], \quad (22)$$

В указанных случаях оценка интервала  $J'_P$  есть симметричный относительно начала координат интервал  $\tilde{J}'_P = [-\tilde{g}'_{\text{max}}, +\tilde{g}'_{\text{max}}]$ , показанный на рис. 24. Метрологические нормативные документы допускают запись таких интервалов в виде  $\pm \tilde{g}'_{\text{max}}$

## 6.6. Интервальное статистическое оценивание

### 6.6.1. Понятие о доверительных интервалах



Недостаток точечных оценок заключается в том, что они не дают достаточной информации о том, насколько далеки эти оценки от действительных значений искомым характеристик. Гораздо более полную информацию о действительных значениях оцениваемых величин и характеристик содержат *интервальные оценки*, каковыми являются границы *доверительных интервалов*.

*Доверительный интервал* - интервал, который накрывает действительное значение оцениваемой величины с заданной вероятностью  $Q$ .

Вероятность  $Q$  называется *доверительной вероятностью* и назначается в пределах от 0.8 до 0.95 в зависимости от условий каждой конкретной задачи.

Слишком малое значение доверительной вероятности снижает доверие к результатам измерений. С другой стороны, слишком большое значение доверительной вероятности приводит к существенному расширению доверительного интервала, и в пределе при  $Q = 1$  доверительным интервалом оказывается вся ось вещественных чисел, ибо в условиях действия случайных факторов об оцениваемой величине наверняка можно предположить лишь, что ее значение лежит где-то на числовой оси.

Границы доверительных интервалов случайны, поскольку они не могут быть определены иначе, чем путем обработки данных, возмущенных действием случайных факторов. В связи с этим доверительный интервал можно интерпретировать, как некий отрезок случайной длины, брошенный случайным образом на числовую ось так, что он накрывает действительное значение оцениваемой величины с доверительной вероятностью  $Q$ .

В метрологической практике доверительные интервалы применяют для определения:

- значения измеряемой величины (на языке математической статистики - математического ожидания результатов многократных измерений),
- значения систематической составляющей погрешности средства измерений (то есть математического ожидания погрешности средства измерений),
- среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности результата измерения или погрешности средства измерения.
- интервала  $J_P$ , в котором содержится не менее  $P$  - ой доли всех возможных значений случайной составляющей погрешности результатов измерений или средств измерений.

### **6.6.2. Доверительные интервалы для значения измеряемой величины и для систематической составляющей погрешности средства измерений**

Точечная оценка математического ожидания результатов многократных измерений неизменяющейся измеряемой величины является оценкой суммы истинного значения измеряемой величины  $x$  и систематической погрешности  $\Delta_c x$ .

Если плотность распределения случайной составляющей погрешности измерений есть плотность нормального распределения или близка к ней, то границы доверительного интервала, накрывающего действительное значение суммы  $x + \Delta_c x$  с вероятностью  $Q$ , вычисляются по формулам

$$\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1), \quad \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1), \quad (23)$$

где  $\bar{x}$  и  $s$  - оценки, вычисляемые по формулам п. 6.5.1????,  $t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1)$  - коэф-

фициент Стьюдента, таблицы значений которого приводятся практически во всех учебниках и справочниках по математической статистике. Ниже в таблице 1 приведена выписка из этих таблиц.

Таким образом, по определению доверительного интервала,

$$P\left(\bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1) \leq x + \Delta_c x \leq \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1)\right) = Q. \quad (24)$$

В случае отсутствия систематической составляющей погрешности доверительный интервал с границами (23) есть не что иное, как интервал неопределенности истинного значения измеряемой величины. Как видно из формулы (24), с увеличением  $n$  ширина доверительного интервала уменьшается, стремясь в пределе к нулю. Это обстоятельство свидетельствует о том, что увеличение количества измерений и усреднение результатов бесполезно. Систематическая погрешность не изменяется при усреднении результатов измерений.

Границы доверительного интервала для систематической составляющей погрешности средства измерений определяются при его метрологических испытаниях по выборочным значениям погрешности в соответствии с приведенными формулами и с заменой  $x$  на  $\Delta$ . В результате будут получены нижняя  $\Delta_{сн}$  и верхняя  $\Delta_{св}$  границы доверительного интервала, который с вероятностью  $Q$  накрывает действительное значение систематической составляющей погрешности средства измерений:

$$P\left(\bar{\Delta} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1) \leq \Delta_c \leq \bar{\Delta} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1)\right) = P(\Delta_{сн} \leq \Delta_c \leq \Delta_{св}) = Q, \quad (25)$$

где точечные оценки  $\bar{A}$  и  $s$  вычисляются по формулам (20).

Таблица 1

Коэффициенты Стьюдента  $t_{\frac{1+Q}{2}}(n-1)$

$Q \backslash n$	4	5	6	8	10	12	14	16	18	...	$\infty$
0.8	1.64	1.53	1.48	1.41	1.38	1.36	1.35	1.34	1.33	...	1.29
0.95	3.18	2.78	2.57	2.36	2.26	2.20	2.16	2.13	2.11	...	1.96

### 6.6.3. Доверительные интервалы для среднеквадратического значения случайной составляющей погрешности

Все действия и формулы, необходимые для построения доверительных интервалов, накрывающих действительное среднеквадратическое значение  $\sigma$  случайной составляющей погрешности средств измерений и результатов измерений, полностью идентичны. Различие состоит только в обозначениях.

Вычисление границ доверительного интервала для  $\sigma$  основано на том, что если плотность распределения случайной составляющей погрешности нормальна, то плотность распределения величины

$$\frac{(n-1) \cdot s^2}{\sigma^2} = \frac{1}{\sigma^2} \sum (x_i - \bar{x})^2,$$

где  $s$  - оценка  $\sigma$  по формуле (10) или (20), есть плотность распределения  $\chi^2(n-1)$  с  $(n-1)$  степенью свободы. Поэтому

$$P\left(\chi_{\frac{1-Q}{2}}^2(n-1) \leq \frac{s^2 \cdot (n-1)}{\sigma^2} \leq \chi_{\frac{1+Q}{2}}^2(n-1)\right) = Q, \quad (26)$$

где  $\chi_{\frac{1-Q}{2}}^2(n-1)$ ,  $\chi_{\frac{1+Q}{2}}^2(n-1)$  - значения квантилей распределения  $\chi^2(n-1)$ .

Эти значения выбираются из таблиц математической статистики, выборка из которых приведена ниже в таблице 2.

Преобразуя неравенство, стоящее внутри скобок, получим нижнюю  $\sigma_n$  и верхнюю  $\sigma_e$  границы доверительного интервала, накрывающего действительное значение  $\sigma$  с доверительной вероятностью  $Q$ :

$$P\left(s \cdot \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{\frac{1+Q}{2}}^2(n-1)}} \leq \sigma \leq s \cdot \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{\frac{1-Q}{2}}^2(n-1)}}\right) = P(\sigma_n \leq \sigma \leq \sigma_e) = Q,$$

Поскольку  $\sigma \geq 0$ , нас будет интересовать только верхняя граница доверительного интервала  $\sigma_e$ . Значение этой верхней границы для  $\sigma$  определяется из неравенства, стоящего в круглых скобках предыдущего выражения:

$$P\left(0 \leq \sigma \leq s \cdot \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{1-Q}^2(n-1)}}\right) = P(0 \leq \sigma \leq \sigma_e) = Q, \quad (27)$$

Таблица 2

Значения  $\chi_{1-Q}^2(n-1)$

$Q \backslash n$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
$Q = 0.8$	0.45	1.0	1.65	2.34	3.07	3.82	4.6	5.38	6.18	6.99	7.81
$Q = 0.95$	0.1	0.35	0.71	1.14	1.63	2.17	2.73	3.32	3.94	4.57	5.23

#### 6.6.4. Доверительный интервал для интервала $J_P$ , в котором содержится $P_0$ - ая доля всех возможных значений случайной составляющей погрешности результатов измерений или средств измерений

Задача состоит в том, чтобы построить доверительный интервал  $\hat{J}(P, Q)$ , который должен покрывать действительный интервал  $J_P$  с вероятностью  $Q$ , то есть

$$P(J_P \subseteq \hat{J}(P, Q)) = Q.$$

Границы доверительного интервала  $\hat{J}(P, Q)$  для  $J_P$  называются *толерантными пределами*. Мы рассмотрим методы построения *параметрических* и *непараметрических толерантных пределов*. Параметрические толерантные пределы могут быть построены при условии, что плотность распределения случайной составляющей погрешности нормальна. Непараметрические толерантные пределы не зависят от вида плотности распределения, но за это требуют увеличения объема выборки, то есть увеличения трудоемкости.

Следует заметить, что с помощью толерантных пределов оценивается характеристика случайной составляющей погрешности результатов однократных измерений и что с увеличением объема выборки ширина доверительного интервала  $\hat{J}(P, Q)$  к нулю не стремится, его границы (толерантные пределы), сближаются друг с другом и приближаются к границам интервала  $J_P$  извне.

Поскольку погрешности нормируются и представляются интервалами  $J'_P$ , симметричными относительно нуля, то доверительные интервалы для них будут также симметричными.

#### 6.6.4.1. Параметрические толерантные пределы

Параметрические толерантные пределы для случайной составляющей погрешности результата измерений или средства измерений суть границы интервала:

$$\hat{J}(P, Q) = [-s \cdot \kappa(n, P, Q), s \cdot \kappa(n, P, Q)], \quad (28)$$

где  $s$  - оценка  $\sigma$ , вычисляемая по формуле (10) или (20),  $\kappa(n, P, Q)$  - толерантный множитель, таблица значений которого приведена в книге Л.Н.Большев, Н.В.Смирнов "Таблицы математической статистики" .-М.: ВЦ АН СССР, 1968 г.

Ниже в таблице 3 приведены значения толерантного множителя для  $P = 0.95$ .

Таблица 3

**Толерантный множитель  $\kappa(n, 0.95, Q)$**

$Q \backslash n$	3	4	5	6	7	8	9	10
0.8	5.09	3.935	3.44	3.167	2.98	2.86	2.77	2.69
0.95	9.916	6.370	5.079	4.414	4.007	3.732	3.532	3.379

Пользуясь выражением для симметричных интервалов, запишем интервал  $\hat{J}(P, Q)$  в виде  $\pm s \cdot \kappa(n, P, Q)$ .

Фактически здесь получена верхняя граница  $\hat{g}$  доверительного интервала для полуширины  $g$  симметричного интервала  $J_P$ :  $\hat{g} = s \cdot \kappa(n, P, Q)$ . Из сравнения полученной интервальной оценки с точечной оценкой (формула (13), п. 6.5.2) видно, что всегда  $\hat{g} > \tilde{g}$ . Этого следовало ожидать, поскольку оценка, полученная здесь, дает право записать равенство

$$P(J_P \subseteq [-\hat{g}, +\hat{g}]) = P(J_P \subseteq [-s \cdot \kappa(n, P, Q), +s \cdot \kappa(n, P, Q)]) = Q,$$

В случаях, когда по обоснованным соображениям даже при существенной случайной составляющей погрешность средства измерений нормируется без разделения на систематическую и случайную составляющие (см. п. 6.5.2 и рис.

8), в качестве оценки  $\hat{g}'$  полуширины  $g'$  интервала  $J'_P$ , показанного на рис. 8, принимают наибольшее по модулю значение (см. также формулу (22)):

$$\hat{g}_{max} = \max\left[|\bar{\Delta} - s \cdot \kappa(n, P, Q)|, |\bar{\Delta} + s \cdot \kappa(n, P, Q)|\right], \quad (29)$$

В указанных случаях оценка такого интервала  $J'_P$  есть симметричный относительно начала координат интервал  $\hat{J}(P, Q) = [-\hat{g}_{max}, +\hat{g}_{max}]$ .

#### 6.6.4.2. Непараметрические толерантные пределы

Непараметрическими точечными оценками границ интервала  $J_P$  в выражении (36) являлись члены вариационного ряда с исключенной оценкой математического ожидания, то есть выборочные значения случайной составляющей погрешности. Необходимая достоверность этих оценок достигалась при некотором объеме выборки, который зависел от заданного значения вероятности  $P$ . Естественно ожидать, что непараметрическими толерантными пределами также будут члены вариационного ряда, и чтобы обеспечить заданную доверительную вероятность того, что действительный интервал  $J_P$  оказался между толерантными пределами, к объему выборки должны быть предъявлены не менее жесткие требования.

В качестве непараметрических толерантных пределов для случайной составляющей погрешности измерений целесообразно использовать члены вариационного ряда (4), симметричные по своему расположению относительно среднего арифметического:

$$\hat{J}(P, Q) = [x_{(l+r)} - \bar{x}, x_{(n-r)} - \bar{x}]. \quad (30)$$

Непараметрические толерантные пределы для случайной составляющей погрешности средств измерений определяются точно так же по элементам вариационного ряда :

$$\hat{J}(P, Q) = [\Delta_{(l+r)} - \bar{\Delta}, \Delta_{(n-r)} - \bar{\Delta}]. \quad (31)$$

Относительно нуля толерантные пределы (30), (31), вообще говоря, симметричными не будут. Но поскольку для нормирования случайной составляющей погрешности используются интервалы  $J'_P$ , симметричные относительно нуля (см. п. 6.3.2), то и доверительные интервалы для них также должны быть симметричными:

$$\hat{J}'(P, Q) = [-\hat{g}', +\hat{g}'], \quad (32) \quad \text{где}$$

$\hat{g}' = \max\left[|\Delta_{(l+r)} - \bar{\Delta}|, |\Delta_{(n-r)} - \bar{\Delta}|\right]$  - непараметрическая интервальная оценка по-

луширины  $g'$  интервала  $J'_p$ . В случаях, когда по обоснованным соображениям даже при существенной случайной составляющей погрешность средства измерений нормируется без разделения на систематическую и случайную, тогда интервал  $J'_p$  содержит обе составляющие (см. рис. 8), и непараметрической оценкой полуширины такого интервала, то есть доверительной погрешности будет

$$\hat{g}_{max} = |\Delta|_{(n-r)} \approx \max[|\bar{\Delta} - \hat{g}|, |\bar{\Delta} + \hat{g}|], \quad (33)$$

где  $\hat{g}$  - оценка из (32),  $|\Delta|_{(n-r)}$  -  $(n - r)$  - ый член вариационного ряда, составленного из модулей выборочных значений погрешностей :

$$|\Delta|_{(1)}, |\Delta|_{(2)}, \dots, |\Delta|_{(n)}, \quad (34)$$

При  $r = 0$  в формулах (30) - (33) будут участвовать крайние члены исходных вариационных рядов, если, конечно, объем выборки достаточен для обеспечения заданных вероятностей  $P$  и  $Q$ . Однако, крайние члены любого вариационного ряда могут оказаться слишком далеко от основной группы результатов измерений из-за импульсных помех, перемежающихся отказов аппаратуры, грубых промахов измерений и действия других дестабилизирующих факторов. Поэтому, если необходимо защититься от их действия, то в качестве толерантных пределов придется использовать не крайние, а внутренние члены вариационного ряда, то есть в формулах

Таблица 4

**Объем выборки, минимально необходимый для определения непараметрических толерантных пределов при  $P_0 = 0.95$**

<b>Q \ r</b>	0	1	2
0.80	32	59	84
0.95	59	93	124

(30) - (33) задать  $r > 0$ . Конечно, за это нужно будет “заплатить” увеличением объема выборки. В таблице 4 приведены значения минимально необходимого объема выборки, при котором для  $r > 0$  обеспечивается заданная достоверность определения непараметрических толерантных пределов при  $P = 0.95$ .

### **6.6.5. Правила представления результатов измерений и характеристик погрешности**

Результат измерения представляется именованным числом, выраженным в единицах измерения измеряемой величины  $x$ ,

Характеристика абсолютной погрешности выражается именованным числом в единицах измерения измеряемой величины.

Характеристика относительной погрешности (в том числе - приведенной) должна выражаться в процентах.

При измерениях, выполняемых с применением современных средств вычислительной техники, результаты измерений и их погрешности предъявляются пользователю с избыточным количеством цифр. Это обстоятельство создает чисто визуальное представление о том, что измерения выполнены очень точно. Особенно ярко это проявляется при усреднении результатов многократных измерений.

Пусть, например, результат усреднения результатов измерений постоянно-го напряжения получен в виде  $8,352487963 \text{ В}$ ,  
а оценка предельной абсолютной погрешности  $0,003567825 \text{ В}$ .

Ясно, что в этом случае все цифры результата, находящиеся на третьем месте после запятой и далее, недостоверны, поскольку все они расположены внутри зоны погрешности, ограниченной первой цифрой, находящейся также на третьем месте после запятой. Поэтому результат измерения следует округлить до того знака (разряда), в котором появилась первая значащая цифра погрешности. В данном случае это третий знак после запятой.

При этом, если старшая из отбрасываемых цифр равна 5 или больше, младшая цифра из оставшихся увеличивается на единицу, в противном случае она остается неизменной. Если результат измерения выражается целым числом, то отбрасываемые цифры заменяются нулями.

Поскольку погрешность результата измерений оценивается приближенно сверху предельным значением, число, выражающее абсолютную или относительную погрешность, бессмысленно представлять количеством значащих цифр, превышающим 2. Поэтому в соответствии с действующей нормативной документацией число, обозначающее предельное значение погрешности (неопределенности) результата, не должно содержать более двух значащих цифр, вторая из которых обычно равна 5.

Округление результата измерений и предельного значения погрешности следует выполнять на последнем этапе вычислений при получении окончательных результатов. Округление значения погрешности выполняется только в сторону увеличения.

В приведенном примере результат должен быть выражен числом



8,352 В,

а предельная абсолютная погрешность (неопределенность) этого результата – числом 0.004 В.

Если в результате измерения получено число 8,352687963 В, то он должен быть представлен в виде 8,353 В.

Правила представления интервальных характеристик. Если интервал симметричен относительно нуля, его границы могут быть представлены в виде  $\pm \Delta$ . Интервал с несимметричными границами следует представлять указанием обеих границ :  $[A, B]$ . Такое же представление пригодно для интервалов с симметричными границами :  $[-A, A]$ .

## 6.7. Определение функций преобразования средств измерений по экспериментальным данным

### 6.7.1. Исходные данные

*Функция преобразования* (или *статическая характеристика преобразования*) средства измерений - функция, описывающая зависимость между входным сигналом  $x$  и выходным сигналом  $y$  (показанием) средства измерений. Чаще всего она представляется в виде  $y = f(x)$ , но иногда используется и обратная функция  $x = \psi(y)$ . Функции преобразования средств измерений кроме аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей, - это гладкие дифференцируемые монотонные функции, сколь угодно точно аппроксимируемые степенными полиномами.

Определение статических характеристик преобразования средств измерений обычно выполняется при их калибровке в метрологических подразделениях с помощью образцовых средств, характеристики погрешности которых и методы выполняемых при этом измерений должны обеспечивать точность результатов измерений, превышающую ожидаемую (декларированную) точность испытуемого средства измерений не менее, чем в  $3 \div 5$  раз.

Пусть статическая характеристика преобразования  $y=f(x)$  аппроксимируется степенным полиномом степени  $p$  с неизвестными коэффициентами:

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_px^p. \quad (35)$$

Задача состоит в определении значений коэффициентов степенного полинома по результатам измерений входного и выходного сигналов так, чтобы во всех  $i$ -ых точках выполнялись равенства:

$$\bar{y}_i = a_0 + a_1x_i + a_2x_i^2 + \dots + a_px_i^p, \quad i = 1, 2, \dots, k. \quad (36)$$

Обычно в нормативных документах на испытуемое средство измерений указываются значения  $x_1, x_2, \dots, x_k$ , которые должны быть заданы на входе. С помощью калибратора или иного точного источника входной величины  $x$  устанавливают последовательно указанные значения, начиная с наименьшего, и при каждом значении  $x_i, i = 1, 2, \dots, k$  измеряют выходной сигнал. Затем по достижении последнего  $k$ -го значения и измерения выходного сигнала ненамного увеличивают значение входной величины, и процесс повторяется в обратном направлении. Делают несколько таких циклов в одинаковых условиях. В результате при каждом значении входной величины  $x_i$  будет получен массив выборочных значений выходной величины объемом  $n$ :

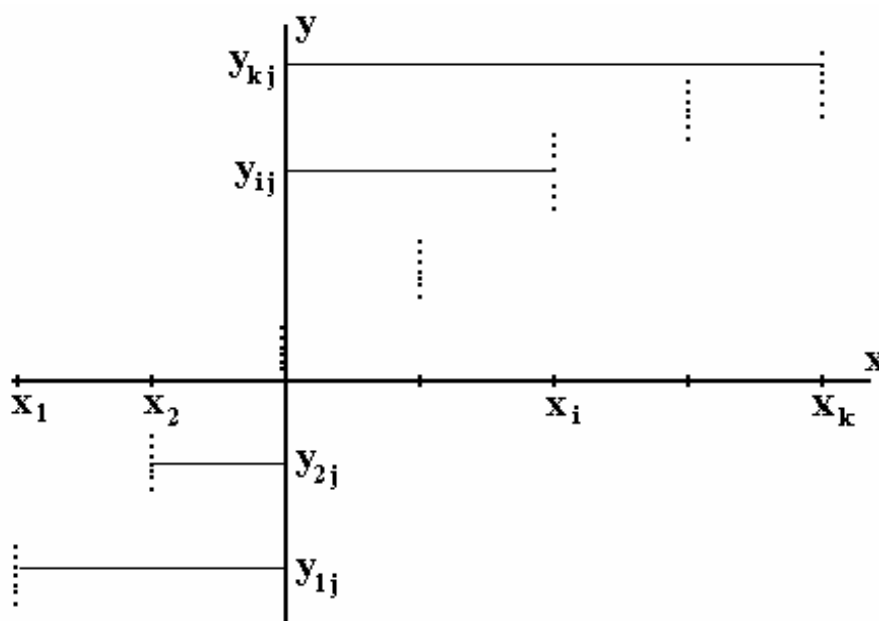


Рис. 15. Графическое представление результатов экспериментов по определению статической характеристики преобразования

$y_{i1}, y_{i2}, \dots, y_{in}$ . Пример графического представления результатов описанного эксперимента показан на рис. 15. Здесь  $y_{ij}, i = 1, 2, \dots, k; j = 1, 2, \dots, n$  - обозначение выборочных значений выходной величины, полученных в  $i$ -ой точке при  $j$ -ом эксперименте.

### 6.7.2. Определение функции преобразования

Предварительная обработка данных, полученных в результате эксперимента и представленных на рис. 15, заключается в том, что в каждой  $i$ -ой точке вычисляются оценки математического ожидания и дисперсии (см. также п. 6.5/1):

$$\bar{y}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n y_{ij}, \quad s_i^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (y_{ij} - \bar{y}_i)^2. \quad (37)$$

Результаты выполненной предварительной обработки исходных данных записывают в виде вектора средних значений и матрицы оценок дисперсий:

$$\bar{\mathbf{Y}} = \begin{pmatrix} \bar{y}_1 \\ \bar{y}_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ \bar{y}_k \end{pmatrix}, \quad \mathbf{S} = \begin{pmatrix} s_1^2 & 0 & \cdot & \cdot & 0 \\ 0 & s_2^2 & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & \cdot & \cdot & s_k^2 \end{pmatrix}. \quad (38)$$

Равенства (36) образуют систему уравнений, которая может быть записана в матричном виде

$$\bar{\mathbf{Y}} = \mathbf{X} \cdot \mathbf{A}, \quad (39)$$

где вектор  $\bar{\mathbf{Y}}$  определен в (38). Матрица  $\mathbf{X}$  и вектор  $\mathbf{A}$  имеют вид

$$\mathbf{X} = \begin{pmatrix} \mathbf{1} & x_1 & x_1^2 & \cdot & \cdot & x_1^p \\ \mathbf{1} & x_2 & x_2^2 & \cdot & \cdot & x_2^p \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \mathbf{1} & x_k & x_k^2 & \cdot & \cdot & x_k^p \end{pmatrix}, \quad \mathbf{A} = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \cdot \\ \cdot \\ a_p \end{pmatrix}. \quad (40)$$

Всегда желательно, чтобы  $k > p + 1$ . Таким образом создается полезная избыточность, повышающая устойчивость оценок коэффициентов полинома. Но при этом матрица  $\mathbf{X}$  неквадратная, и система (39) не имеет решения в обычном смысле. Для получения решения эту систему преобразуют к системе с квадратной матрицей путем умножения слева на транспонированную матрицу  $\mathbf{X}^T$ :

$$\mathbf{X}^T \bar{\mathbf{Y}} = \mathbf{X}^T \mathbf{X} \cdot \mathbf{A},$$

Решая эту систему, получают вектор оценок коэффициентов полинома:

$$\tilde{\mathbf{A}} = (\mathbf{X}^T \mathbf{X})^{-1} \mathbf{X}^T \bar{\mathbf{Y}}. \quad (41)$$

Компонентами вектора  $\tilde{\mathbf{A}}$  являются оценки  $\tilde{a}_0, \tilde{a}_1, \dots, \tilde{a}_p$  коэффициентов полинома (35). Описанный метод их получения называется *методом наименьших квадратов (МНК)*, поскольку полином с такими коэффициентами пройдет между экспериментальными точками так, что сумма квадратов расстояний от него до этих точек окажется минимальным.

На практике точность измерений значений выходного сигнала при разных значениях входного сигнала может быть различной. Понятно, что более точным

результатам следует придавать больший вес, чем менее точным. С этой целью в уравнение (41) вводится матрица  $S$  :

$$\tilde{A} = (X^T S^{-1} X)^{-1} X^T S^{-1} \bar{Y}. \quad (42)$$

Дисперсии этих оценок суть диагональные элементы матрицы

$$S_{\tilde{a}} = \frac{1}{n} (X^T S^{-1} X)^{-1}. \quad (43)$$

Появление множителя  $1/n$  вызвано тем, что левая часть системы (36) и (39) - это вектор средних арифметических значений, дисперсия которых, как указано в п. 6.5.1, в  $n$  раз меньше дисперсии погрешности однократных измерений.

### 6.7.3. Определение коэффициента преобразования линейной функции.

При разработке и изготовлении средств измерений обычно стремятся к тому, чтобы их функции преобразования были линейными по отношению к информативному параметру измеряемого или преобразуемого сигнала измеряемой величины. Мало того, обычно добиваются, чтобы эти функции обязательно проходили через начало координат.

Незначительная нелинейность и ненулевое значение выходного сигнала при нуле входного учитываются в составе систематической составляющей погрешности средства измерений. Значение этой погрешности зависит от входной величины и является случайным на множестве экземпляров средств измерений одного типа. Поэтому она нормируется пределами допускаемых значений в составе общей погрешности средства измерений. Потребители таких средств измерений имеют возможность существенно уменьшить эту погрешность от необъявленной нелинейности функции преобразования путем выполнения собственными силами эксперимента, описанного выше в п. 6.7.1, и полиномиальной аппроксимации его результатов по п. 6.7.2. Далее при рабочих измерениях они пользуются этой индивидуальной характеристикой, и тем самым систематическая погрешность, вызванная фактической нелинейностью, существенно уменьшается.

Итак, в рассматриваемом случае, когда функция преобразования объявлена линейной, проходящей через начало координат, степень  $p$  полинома (35) равна 1, коэффициент  $a_0 = 0$ , и нам остается определить значение только одного коэффициента полинома  $y = a_1 x$ . Этот коэффициент называется коэффициентом

преобразования и в то же время его значение есть чувствительность средства измерений.

### 1\*. Случай равноточных измерений.

Поскольку мы оцениваем лишь единственный коэффициент, от матрицы  $X$  в (40) останется только один второй столбец. Вследствие равноточности измерений матрица  $S$  - единичная, и формулы п. 6.7.2 приобретают весьма простой вид.

Оценка коэффициента  $a_1$  и среднеквадратическое значение его погрешности вычисляются по формулам:

$$\tilde{a}_1 = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{y}_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^k x_i^2}, \quad s_{\tilde{a}_1} = \sqrt{\frac{s_{max}^2}{n \sum_{i=1}^k x_i^2}}, \quad (44)$$

где  $s_{max}^2$  - наибольшее из значений оценок дисперсий(37).

В конечном итоге мы получаем оценку функции преобразования средства измерений в виде

$$y = \tilde{a}_1 \cdot x. \quad (45)$$

### 2\*. Случай неравноточных измерений.

В этом случае формулы (44) изменяются следующим образом:

$$\tilde{a}_1 = \frac{\sum_{i=1}^k \bar{y}_i \cdot \frac{x_i}{s_i^2}}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{x_i}{s_i}\right)^2}, \quad s_{\tilde{a}_1} = \sqrt{\frac{1}{n \cdot \sum_{i=1}^k \left(\frac{x_i}{s_i}\right)^2}}. \quad (46)$$

Остальные действия, выводы и замечания в точности соответствуют изложенному выше.

## 6.8. Применение методов проверки статистических гипотез при метрологических испытаниях средств измерений (поверке или калибровке)

### 6.8.1. Общие положения теории проверки статистических гипотез

В теории проверки статистических гипотез приняты обозначения:

$H_0$  - гипотеза, выдвигаемая исследователем и подлежащая проверке,

$H_1$  - альтернативная гипотеза.

Методами проверки статистических гипотез решаются следующие задачи измерительной техники и метрологии :

- контроль характеристик погрешности средств измерений при метрологических испытаниях в присутствии существенной случайной составляющей (в этом случае проверяется гипотеза  $\mathbf{H}_0: -\Delta_{\text{доп}} \leq \Delta \leq \Delta_{\text{доп}}$  или  $-\gamma_{\text{доп}} \leq \gamma \leq \gamma_{\text{доп}}$ );

- определения вида плотности распределения случайных составляющих погрешности средств измерений и результатов измерений

В каждом из перечисленных случаев нужно помнить следующее.

**1\***. Проверка статистических гипотез выполняется по экспериментальным данным, возмущенным случайными погрешностями. Поскольку количество экспериментальных данных (то есть объем выборки) не бесконечно, то это порождает неопределенность в принятии решения об истинности или ложности проверяемой гипотезы. Необходимо выяснить, чем вызвано несоответствие между выдвигаемой гипотезой и результатами эксперимента: имеющейся случайностью и конечностью объема выборки или систематическим неслучайным расхождением между выдвинутой гипотезой и реальностью.

**2\***. Значение критерия вычисляется в предположении справедливости гипотезы  $\mathbf{H}_0$  (она называется *нулевой гипотезой*), а критическое значение критерия выбирается из следующих соображений: "Если нулевая гипотеза в самом деле справедлива, то превышение критерием данного критического значения настолько маловероятно, что не может быть оправдано конечностью объема выборки, и потому в этом случае приходится признать, что экспериментальные данные противоречат выдвинутому предположению, и для подтверждения нулевой гипотезы отсутствуют достаточные основания. Напротив, если вычисленное значение критерия не превысило критического значения, это означает, что экспериментальные данные не противоречат выдвинутой гипотезе  $\mathbf{H}_0$ ".

Вероятность того, что критерий превысит критическое значение при справедливости нулевой гипотезы, называется *уровнем значимости критерия* и обозначается через  $\alpha$ . Уровень значимости задается заранее, и его значение есть вероятность ошибочного отклонения выдвигаемой нулевой гипотезы, то есть условная вероятность принять гипотезу  $\mathbf{H}_1$  при условии, что справедлива гипотеза  $\mathbf{H}_0$ . С использованием обозначения условной вероятности это определение записывается в виде

$$\alpha = P\left(\frac{\mathbf{H}_1}{\mathbf{H}_0}\right).$$

В теории проверки статистических гипотез вероятность  $\alpha$  называется также *вероятностью ошибки первого рода*, или *риском производителя*, или *риском продавца*.

**3\***. Понятно, что, уменьшая  $\alpha$ , мы уменьшаем возможность ошибочного отклонения выдвигаемой нами нулевой гипотезы, и в пределе при  $\alpha = 0$  нулевая гипотеза не будет отклонена никогда! Но тогда эту гипотезу можно было бы и не проверять, а просто принять ее безоговорочно. Правда, если она на самом деле неверна, то этот факт не будет обнаружен, то есть в этом случае вероятность ошибочного вывода возрастает до единицы. Применительно к метрологической практике уменьшение уровня значимости при метрологических испытаниях средств измерений приведет к ослаблению контроля метрологических характеристик средств измерений.

**4\***. В связи с этим существует объективная необходимость контролировать вероятность пропуска при контроле дефектного изделия, то есть условную вероятность того, что при условии, когда нулевая гипотеза не имеет места, тем не менее она не отклоняется. Вероятность подобного ошибочного решения обозначается через  $\beta$  называется *вероятностью ошибки второго рода*, или *риском заказчика*, или *риском покупателя*:

$$\beta = P\left(\frac{H_0}{H_1}\right).$$

**5\***. Понятно, что, уменьшая  $\beta$ , мы уменьшаем возможность ошибочного принятия решения о справедливости выдвигаемой нами нулевой гипотезы, когда она неверна, и в пределе при  $\beta = 0$  нулевая гипотеза будет всегда отклонена! Но тогда эту гипотезу можно было бы и не проверять, а просто безоговорочно ее отклонять. Применительно к метрологической практике в этом случае в условиях действия случайных погрешностей никакое средство измерений не будет признано пригодным к применению.

**6\***. Эти рассуждения указывают на то, что, если при метрологических испытаниях средств измерений в условиях действия случайных погрешностей для принятия решения о годности или дефектности средства измерений используются методы проверки статистических гипотез, то

- должны быть приняты меры для контроля обеих вероятностей ошибочных решений, как  $\alpha$ , так и  $\beta$ ,

- значения вероятностей  $\alpha$  и  $\beta$  (рисков производителя и потребителя средств измерений) должны назначаться из соображений нанесения минимального ущерба системе обеспечения единства измерений в целом, ибо и произво-

датель, и потребитель средств измерений являются равноправными и равноответственными участниками этой системы.

### 6.8.2. Проверка гипотезы о систематической составляющей погрешности средства измерений

Пусть при поверке или калибровке средства измерений в соответствии с п. 6.5.2 получены выборочные значения погрешностей  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  и вычислены точечные оценки  $\bar{\Delta}$  и  $s$  по формулам (20). Пусть  $\Delta_{\text{доп}}$  - предел допускаемой абсолютной систематической погрешности средства измерений. Стоит задача контроля систематической погрешности  $\Delta_c$  средства измерений путем проверки выполнения требования нормативного документа, сформулированного в виде  $|\Delta_c| \leq \Delta_{\text{доп}}$ . Средство измерений обладает случайными погрешностями, поэтому проверка этого требования посредством простого сравнения оценки  $\bar{\Delta}$  с нормой чревата ошибочным выводом, степень достоверности которого неизвестна.

Для применения статистического метода формулируется гипотеза

$$\mathbf{H}_0: \quad |\Delta_c| \leq \Delta_{\text{доп}}$$

и ее альтернатива

$$\mathbf{H}_1: \quad |\Delta_c| > \Delta_{\text{доп}}.$$

Задаются вероятности ошибочных решений  $\alpha$  и  $\beta$ .

Вычисляются два значения доверительной вероятности  $Q_\alpha = 1 - \alpha$  и  $Q_\beta = 1 - \beta$ .

По формуле (25) с использованием таблиц коэффициентов Стьюдента для каждой из этих доверительных вероятностей вычисляются значения границ доверительных интервалов:

- для вероятности  $Q_\alpha$  :

$$\Delta_{CH}^\alpha = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q_\alpha}{2}}(n-1), \quad \Delta_{CB}^\alpha = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q_\alpha}{2}}(n-1),$$

- для вероятности  $Q_\beta$  :

$$\Delta_{CH}^\beta = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q_\beta}{2}}(n-1), \quad \Delta_{CB}^\beta = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} \cdot t_{\frac{1+Q_\beta}{2}}(n-1)$$

Полученные значения границ сравнивают с предельно допускаемым значением, как это показано на рис. 16. На оси ординат отложено количество по-



вторных измерений (объем выборки). Пределы допускаемой систематической погрешности показаны вертикальными линиями. Отмечены зоны, соответствующие гипотезе  $H_0$  и альтернативе  $H_1$ . Начальное количество измерений равно  $n_0$ . На рис. 16 а) при  $n = n_0$  жирным отрезком показан доверительный интервал, соответствующий вероятности  $Q_\beta = 1 - \beta$ . В случае, если этот интервал целиком находится внутри зоны нулевой гипотезы, как это показано на рисунке, гипотеза  $H_0$  не отклоняется. Поскольку этот доверительный интервал, по построению, покрывает истинное значение систематической погрешности с вероятностью  $Q_\beta = 1 - \beta$ , то это значит, что истинное значение систематической погрешности может находиться вне доверительного интервала с вероятностью  $\beta = 1 - Q_\beta$ . Вероятность того, что истинное значение систематической погрешности может находиться в зоне гипотезы  $H_1$ , и тогда наше решение было бы ошибочным, меньше, чем заданное значение  $\beta$ , как это видно из рисунка. Поэтому в ситуации, показанной на рис. 16 а), вероятность ошибочного решения удовлетворяет неравенству

$$P\left(\frac{H_0}{H_1}\right) \leq \beta.$$

На рис. 16 в) при  $n = n_0$  жирным отрезком показан доверительный интервал, соответствующий вероятности  $Q_\alpha = 1 - \alpha$ . В случае, если этот интервал целиком находится вне зоны, соответствующей гипотезе  $H_0$ , как это показано на рисунке, нулевая гипотеза отклоняется и тем самым средство измерений бракуется. Поскольку этот доверительный интервал, по построению, покрывает истинное значение систематической погрешности с вероятностью  $Q_\alpha = 1 - \alpha$ , то это значит, что истинное значение систематической погрешности может находиться вне доверительного интервала с вероятностью  $\alpha = 1 - Q_\alpha$ . Вероятность того, что истинное значение систематической погрешности может находиться

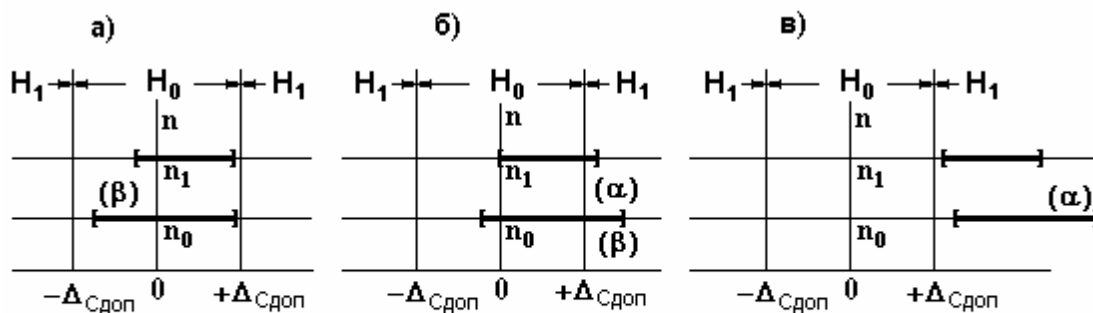


Рис. 16. К проверке гипотезы о систематической погрешности средства измерений

в зоне гипотезы  $H_0$ , и тогда наше решение было бы ошибочным, меньше, чем заданное значение  $\alpha$ , как это видно из рисунка. Поэтому в ситуации, показанной на рис. 16 в), вероятность ошибочного решения удовлетворяет неравенству:

$$P\left(\frac{H_1}{H_0}\right) \leq \alpha.$$

В случае, когда границы какого-либо доверительного интервала оказываются в различных зонах, как это показано на рис. 16 б), возможны следующие решения:

- отклонить нулевую гипотезу и тем самым забраковать средство измерений, которое может оказаться годным, и в этой ситуации возрастает ущерб производителя,

- выполнить дополнительные измерения в расчете на то, что с увеличением количества измерений (объема выборки) доверительный интервал сужается и сможет целиком попасть в одну из зон принятия решения.

На рисунке показаны возможные варианты расположения доверительных интервалов после увеличения количества измерений до  $n_1$ . Ход рассуждений, приведенных выше, полностью повторяется.

Количество шагов этой процедуры ограничивается технико-экономическими факторами.

Данный алгоритм проверки гипотезы, строго говоря, справедлив при нормальном распределении погрешностей, сопровождающих измерения. Однако, начиная уже с  $n = (10 \div 15)$ , благодаря центральной предельной теореме, он становится мало чувствительным к отклонению закона распределения погрешностей от нормального.

### 6.8.3. Проверка гипотезы о средневекторном значении

### случайной составляющей погрешности средства измерений

В соответствии с ГОСТ 8.009 в качестве нормируемой характеристики случайной составляющей погрешности средства измерений может использоваться среднеквадратическое значение  $\sigma$ . В этом случае устанавливается предел допускаемого среднеквадратического значения погрешности  $\sigma_{\text{доп}}$ .

Нулевая гипотеза и ее альтернатива формулируются следующим образом.

$$H_0: \quad \sigma \leq \sigma_{\text{доп}},$$

$$H_1: \quad \sigma > \sigma_{\text{доп}}.$$

Алгоритм проверки этой гипотезы тот же, что был использован в предыдущем п.6.8.2.

Вначале выполняется  $n_0$  измерений, и по выборочным значениям погрешности в соответствии с формулами (20) вычисляется точечная оценка  $s$  среднеквадратического значения погрешности  $\sigma$ . Затем задаются значения вероятностей ошибочных решений  $\alpha$  и  $\beta$  и вычисляются нижняя и верхняя границы доверительного интервала для  $\sigma$  (см. формулу (26) п. 6.6.3):

$$\sigma_H = s \cdot \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{1-\alpha}^2(n-1)}}, \quad \sigma_B = s \cdot \sqrt{\frac{n-1}{\chi_{\beta}^2(n-1)}}.$$

Эти выражения отличаются от границ (26) доверительного интервала тем, что здесь использованы табличные значения  $\chi^2$ , соответствующие вероятностям  $1-\alpha$  и  $\beta$ . Доверительная вероятность, с которой данный интервал покрывает истинное значение  $\sigma$ , равна  $Q = 1 - \alpha - \beta = 1 - (\alpha + \beta)$ .

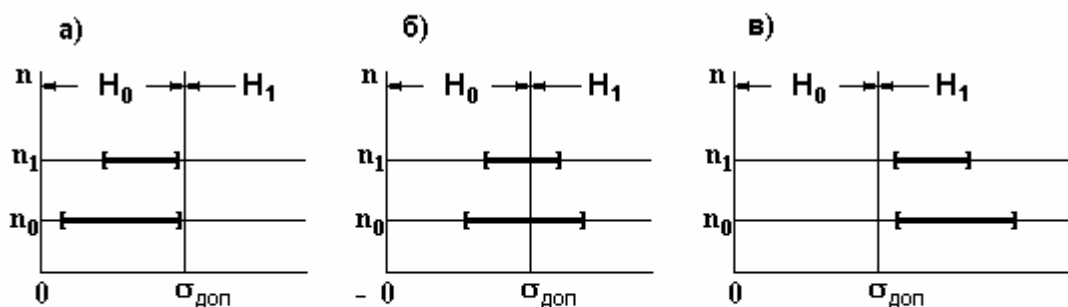


Рис. 17. К проверке гипотезы о среднеквадратическом значении случайной погрешности

С пределом допускаемых значений сравниваются нижняя и верхняя границы доверительного интервала, как это показано на рис. 17, который отличает-

ся от рис. 16 тем, что в нем используется лишь положительная полуось абсцисс из-за того, что всегда  $s \geq 0$  и  $\sigma \geq 0$ . Как и ранее, доверительный интервал показан жирным отрезком.

Как следует из рисунка, гипотеза  $H_0$  не отвергается, если  $\sigma_B \leq \sigma_{\text{доп}}$ .

Если  $\sigma_H > \sigma_{\text{доп}}$ , гипотеза  $H_0$  не принимается, средство измерений бракуется.

В случае, когда ни одно из этих неравенств не выполняется, возможны следующие решения:

- отклонить нулевую гипотезу и тем самым забраковать средство измерений, которое может оказаться годным, и в этой ситуации возрастает ущерб производителя,

- выполнить дополнительные измерения в расчете на то, что с увеличением количества измерений (объема выборки) доверительный интервал сужается и сможет целиком попасть в одну из зон принятия решения.

На рисунке показаны возможные варианты расположения доверительных интервалов после увеличения количества измерений до  $n_1$ . Ход рассуждений, приведенных выше, полностью повторяется.

Как и ранее, при таком алгоритме проверки гипотезы, если процедура будет повторяться до попадания доверительного интервала в одну из зон  $H_0$  или  $H_1$ , то гарантируются следующие вероятности ошибочных решений

$$P\left(\frac{H_1}{H_0}\right) \leq \alpha \quad \text{и} \quad P\left(\frac{H_0}{H_1}\right) \leq \beta.$$

На практике количество шагов этой процедуры ограничивается технико-экономическими факторами.

Данный алгоритм проверки гипотезы чувствителен к отклонению закона распределения погрешностей от нормального.

#### **6.8.4. Проверка гипотезы о погрешности средства измерений, заданной интервалом $J_p$ или $J'_p$**

Если в качестве характеристики погрешности принят интервал  $J_p$  или  $J'_p$  (см. п. 6.3.2, рис. 8), то в этих случаях устанавливается норма на ширину этого интервала  $g$  или  $g'$  соответственно.

Этой нормой является:

- для интервала  $J_p$  - предел допускаемой случайной составляющей погрешности (когда систематическая и случайная составляющие погрешности

нормируются отдельно и интервал  $J_p$  содержит только случайную составляющую),

- для интервала  $J'_p$  - предел допустимой погрешности (когда систематическую и случайную составляющие не разделяют при нормировании и интервал  $J'_p$  содержит обе составляющие).

Будем использовать для обоих вариантов одно обозначение нормы:  $\Delta_{\text{доп}}$ .

Тогда гипотезы, подлежащие проверке, формулируются следующим образом:

$$H_0: \quad g \leq \Delta_{\text{доп}}, \quad (g' \leq \Delta_{\text{доп}}),$$

$$H_1: \quad g > \Delta_{\text{доп}}, \quad (g' > \Delta_{\text{доп}}).$$

Поскольку контролируемые интервалы определены, как интервалы, внутри которых погрешность средства измерений может принимать значения с вероятностью  $P$ , гипотеза о ширине любого из интервалов может быть переформулирована в эквивалентную ей гипотезу о вероятности:

$$H_0: \quad P(-\Delta_{\text{доп}} \leq \delta \leq \Delta_{\text{доп}}) \geq P,$$

$$H_1: \quad P(-\Delta_{\text{доп}} \leq \delta \leq \Delta_{\text{доп}}) < P, \quad (47)$$

где через  $\delta$  обозначена абсолютная погрешность, как случайная величина.

В этой формулировке проверка гипотезы статистическим методом с контролем вероятностей  $\alpha$  и  $\beta$  выполняется независимо от вида плотности распределения погрешности.

Алгоритм проверки гипотезы в формулировке (47).

Задаются вероятности ошибочных решений  $\alpha$  и  $\beta$ .

Выполняют  $n_0$  измерений, получают выборку значений абсолютной погрешности (только случайной или без разделения на случайную и систематическую) и подсчитывают количество случаев, когда оказалось, что значение модуля погрешности не превосходит нормы, то есть  $\Delta_{\text{доп}}$ . Пусть число таких случаев равно  $m$ .

Подсчитывают точечную оценку вероятности  $P$ :

$$\tilde{P} = \frac{m}{n_0}.$$

Нижнюю  $P_H$  и верхнюю  $P_B$  границы доверительного интервала для истинной вероятности вычисляют путем решения относительно них уравнений:

$$\sum_{i=m}^{n_0} C_{n_0}^i P_H^i \cdot (1 - P_H)^{n_0 - i} = \beta, \quad \sum_{i=0}^m C_{n_0}^i P_B^i \cdot (1 - P_B)^{n_0 - i} = \alpha,$$

где  $C_{n_0}^i$  - число сочетаний из  $n_0$  элементов по  $i$ .

Таким образом обеспечивается доверительная вероятность  $Q = 1 - (\alpha + \beta)$ .

Затем точно так же, как в предыдущем пункте, сравнивают нижнюю и верхнюю границы доверительного интервала с нормой, в данном случае с  $P_0$ , как это показано на рис. 18, очень похожем на рис. 17.

Как следует из рисунка, гипотеза  $H_0$  не отвергается, если  $P_H \geq P_0$ .

Если  $P_B < P_0$ , гипотеза  $H_0$  не принимается, средство измерений бракуется.

В случае, когда ни одно из этих неравенств не выполняется, возможны следующие решения:

- отклонить нулевую гипотезу и тем самым забраковать средство измерений, которое может оказаться годным, и в этой ситуации возрастает ущерб производителя,

- выполнить дополнительные измерения в расчете на то, что с увеличением количества измерений (объема выборки) доверительный интервал сужается и сможет целиком попасть в одну из зон принятия решения.

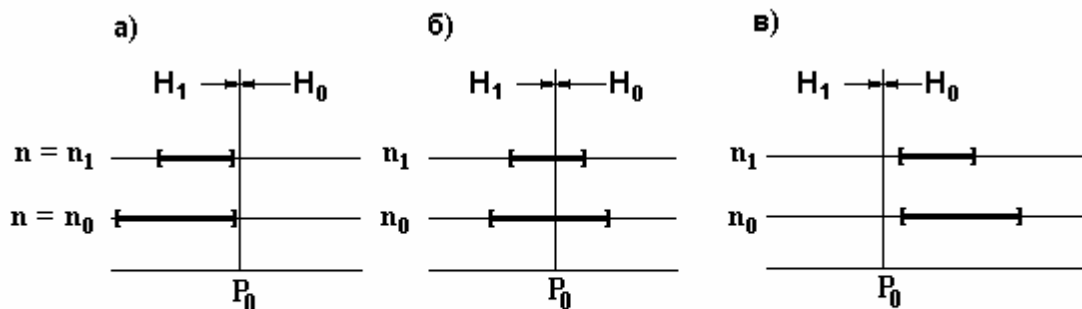


Рис. 18. К проверке гипотезы о погрешности, нормированной интервалом

На рисунке показаны возможные варианты расположения доверительных интервалов после увеличения количества измерений до  $n_1$ . Ход рассуждений, приведенных выше, полностью повторяется.

Отметим, что в случае использования для расчетов современных компьютеров появляется возможность увеличивать количество измерений по одному, тут же рассчитывать границы доверительного интервала и сравнивать их с нормой. Таким образом будет реализован один из вариантов статистического последовательного анализа, классический вариант которого разработал А.Вальд для проверки подобной гипотезы о вероятности (см. А.Вальд, Последователь-

ный анализ.-М.: Физматгиз.-1960, А.Е. Башаринов,Б.С. Флейшман Методы статистического последовательного анализа и их применения.-М.: Сов. радио.-1962).

Как и ранее, при таком алгоритме проверки гипотезы, если процедура будет повторяться до попадания доверительного интервала в одну из зон  $H_0$  или  $H_1$ , то гарантируются следующие вероятности ошибочных решений

$$P\left(\frac{H_1}{H_0}\right) \leq \alpha \quad \text{и} \quad P\left(\frac{H_0}{H_1}\right) \leq \beta.$$

На практике количество шагов этой процедуры ограничивается технико-экономическими факторами.

Данный метод проверки гипотезы не чувствителен к виду закона распределения погрешности (distribution-free method).

В связи с этим нормирование погрешности интервалом с заданной вероятностью является предпочтительным.

## **6.9. Идентификация плотности распределения случайной составляющей погрешности измерений с помощью проверки статистических гипотез**

### **6.9.1. Критерии проверки статистических гипотез о плотности распределения случайных составляющих погрешности**

Выше в разделе 6.8 приведены примеры применения методов проверки статистических гипотез для идентификации статических характеристик преобразования средств измерений. В настоящем разделе будут рассмотрены методы идентификации плотности распределения случайной составляющей погрешности средств измерений и результатов измерений с помощью следующих наиболее распространенных критериев:

- “хи-квадрат”,
- Колмогорова - Смирнова,
- “омега-квадрат” Мизеса.

### **6.9.2. Проверка гипотезы $H_0$ о соответствии плотности распределения выборочным данным по критерию “хи - квадрат”**

Гипотеза  $H_0$  состоит в том, что выборочные значения извлечены из генеральной совокупности, плотность распределения вероятностей которой  $\varphi(x)$ .

Проверка этой гипотезы по критерию  $\chi^2$  производится путем сравнения гистограммы с предполагаемой теоретической кривой плотности распределения вероятностей. Критерий  $\chi^2$  есть количественная оценка отличия теоретической кривой от гистограммы и вычисляется по формуле

$$\chi^2(K-r) = \sum_{k=1}^K \frac{(n_k - n \cdot p_k)^2}{n \cdot p_k}, \quad (48)$$

где  $K$  - общее количество отрезков оси абсцисс, на которых построена гистограмма,  $r$  - количество параметров предполагаемой плотности распределения, которые были вычислены по выборочным данным,  $n$  - объем выборки,  $n_k$  - количество выборочных значений, попавших в  $k$ -ый интервал гистограммы (см. п. 6.4.2 и рис. 14),  $p_k$  - вероятность попадания значения случайной величины (погрешности, помехи) в этот же интервал, вычисленная по теоретической плотности распределения :

$$p_k = \int_{x_{k-1}}^{x_k} \varphi(x) dx .$$

Критическое значение  $\chi_{1-\alpha}^2(K-r)$  критерия назначается путем задания уровня значимости  $\alpha$ . Ниже приведена таблица 5 критических значений критерия.

Теперь, если окажется, что  $\chi^2(K-r) > \chi_{1-\alpha}^2(K-r)$ , делается следующее заключение: "Если бы полученная нами выборка была извлечена из генеральной совокупности с плотностью распределения  $\varphi(x)$ , то такое большое значение критерия настолько маловероятно, что у нас нет оснований для подтверждения выдвинутой гипотезы".

В противоположной ситуации, когда

$$\chi^2(K-r) < \chi_{1-\alpha}^2(K-r),$$

делается заключение: "Выборочные данные не противоречат гипотезе о том, что они извлечены из генеральной совокупности с плотностью распределения  $\varphi(x)$ ".

Таблица 5

**Таблица критических значений критерия  $\chi^2$**

$\alpha \backslash K-r$	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0.2	6.0	7.3	8.6	9.8	11.0	12.2	13.4	14.6	15.8	17.0
0.1	7.8	9.2	10.6	12.0	13.4	14.7	16.0	17.3	18.5	19.8



0.05	9.5	11.1	12.6	14.1	15.5	16.9	18.3	19.7	21.0	22.4
------	-----	------	------	------	------	------	------	------	------	------

### 6.9.3. Проверка гипотезы $H_0$ о соответствии плотности распределения выборочным данным по критерию Колмогорова - Смирнова

В соответствии с настоящим критерием сопоставляются функции распределения: предполагаемая и выборочная (см. п. 6.4.2). В качестве меры расхождения между ними здесь используется максимальный модуль разности:

$$D = \sup_i |\tilde{F}(x_{(i)}) - F(x_{(i)})|, \quad (49)$$

где  $F(x_{(i)})$  - предполагаемая функция распределения.

Заданному уровню значимости соответствует критическое значение критерия  $D_\alpha$ , и если окажется, что  $D > D_\alpha$ , делается заключение: "Если бы полученная нами выборка была извлечена из генеральной совокупности с плотностью распределения  $\varphi(x)$ , то такое большое значение критерия настолько маловероятно, что у нас нет оснований для подтверждения выдвинутой гипотезы".

В противоположной ситуации, когда  $D < D_\alpha$ , делается заключение: "Выборочные данные не противоречат гипотезе о том, что они извлечены из генеральной совокупности с плотностью распределения  $\varphi(x)$ ".

Таблица 6

Критические значения  $D_\alpha$

$\alpha \backslash n$	10	15	20	25	30	35	40	50	60	80	100
0.2	0.322	0.266	0.231	0.208	0.190	0.176	0.165	0.148	0.136	0.118	0.106
0.1	0.369	0.304	0.265	0.238	0.217	0.202	0.189	0.169	0.155	0.135	0.121
0.05	0.409	0.337	0.294	0.264	0.242	0.224	0.210	0.118	0.172	0.150	0.134

Для корректного применения критерия Колмогорова-Смирнова нужно разделить выборку на две группы, по одной из них оценить параметры предполагаемой функции распределения, а по другой - построить выборочную функцию распределения и приступить к проверке гипотезы.

В таблице 6 приведена выписка из таблицы критических значений  $D_\alpha$ .

### 6.9.4. Проверка гипотезы $H_0$ о соответствии плотности распределения выборочным данным по критерию $\omega^2$ Мизеса

Мерой расхождения между предполагаемой и выборочной функциями распределения является средний квадрат разностей между ними:

$$\omega^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (\tilde{F}(x) - F(x))^2 \varphi(x) dx. \quad (50)$$

Это выражение существенно упрощается, если интеграл представить в виде суммы интегралов по интервалам  $(x_{(i)}, x_{(i+1)})$ . Тогда после умножения на  $n$  будем иметь:

$$n \cdot \omega^2 = \frac{l}{12 \cdot n} + \sum_{i=1}^n \left( F(x_{(i)}) - \frac{2 \cdot i - 1}{2 \cdot n} \right)^2, \quad (51)$$

где  $i$  - номер члена вариационного ряда,  $F(x_{(i)})$  - предполагаемая функция распределения.

Точные критические значения  $\omega_{\alpha}^2$  не табулированы, но уже начиная с объема выборки  $n = 50$ , можно уверенно пользоваться значениями, которые приведены в нижеследующей таблице.

Таблица 7  
Критические значения критерия Мизеса

Уровни значимости	0.2	0.1	0.05	0.03
Критические значения $n \omega_{\alpha}^2$	0.2415	0.3473	0.4614	0.5489

Теперь если окажется, что  $n \cdot \omega^2 > n \cdot \omega_{\alpha}^2$ , делается заключение: "Если бы полученная выборка была извлечена из генеральной совокупности с плотностью распределения  $\varphi(x)$ , то такое большое значение критерия настолько маловероятно, что у нас нет оснований для подтверждения выдвинутой гипотезы". В противоположной ситуации, когда  $n \cdot \omega^2 < n \cdot \omega_{\alpha}^2$ , делается заключение: "Выборочные данные не противоречат гипотезе о том, что они извлечены из генеральной совокупности с плотностью распределения  $\varphi(x)$ ".

## 7. Организационные и правовые основы обеспечения единства измерений

### 7.1. Государственное управление обеспечением единства измерений

Государственное управление по обеспечению единства измерений в Российской Федерации осуществляет Федеральное Агентство РФ по стандартизации, метрологии и сертификации (в дальнейшем - Федеральное Агентство) через Государственные научные метрологические центры (метрологические институты), территориальные органы государственного метрологического надзора, действующие во всех субъектах федерации, а также через метрологические службы юридических лиц, аккредитованные в установленном порядке.

Метрологическая служба - совокупность субъектов деятельности и видов работ, направленных на обеспечение единства измерений.

Органами государственной метрологической службы являются:

- государственные научные метрологические центры,
- органы государственной метрологической службы на территориях субъектов федерации,
- государственная служба времени и частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ),
- государственная служба стандартных образцов состава и свойств веществ и материалов (ГССО),
- государственная служба стандартных справочных данных о физических константах и свойствах веществ и материалов (ГСССД).

Государственный метрологический надзор и контроль соблюдения метрологических правил и норм, установленных законодательными актами, стандартами и другими нормативными документами, осуществляют должностные лица - государственные инспекторы по обеспечению единства измерений.

Обязательный государственный метрологический надзор и контроль распространяется на следующие сферы:

- здравоохранение, ветеринарию, охрану окружающей среды, обеспечение безопасности труда,
- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом,
- государственные учетные операции,
- обеспечение обороны государства,
- геодезические и гидрометеорологические работы,
- банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции,
- производство продукции по контрактам для государственных нужд РФ,

- измерения, выполняемые при обязательной сертификации продукции и услуг,

- измерения, проводимые по поручению судебных и арбитражных органов,
- регистрацию национальных и международных рекордов.

Государственные органы управления Российской Федерации, а также учреждения, предприятия и организации любой формы собственности, являющиеся юридическими лицами, создают в случае необходимости собственные (ведомственные) метрологические службы, которые должны в обязательном порядке участвовать в выполнении работ из вышеприведенного перечня.

Структура метрологических служб представлена на рис. 19.

Функции органов метрологической службы, представленных на рис. 19, состоят в следующем.

Федеральное Агентство РФ по стандартизации, сертификации и метрологии

- координирует деятельность по обеспечению единства измерений в Российской Федерации, руководит деятельностью метрологических служб,

- устанавливает правила создания, утверждения, хранения и применения государственных эталонов,

- представляет правительству Российской Федерации проекты законодательных актов по вопросам обеспечения единства измерений и предложения по единицам величин, допускаемых к применению,

- определяет общие требования к средствам, методам и результатам измерений,

- участвует в деятельности международных метрологических организаций через своих представителей.

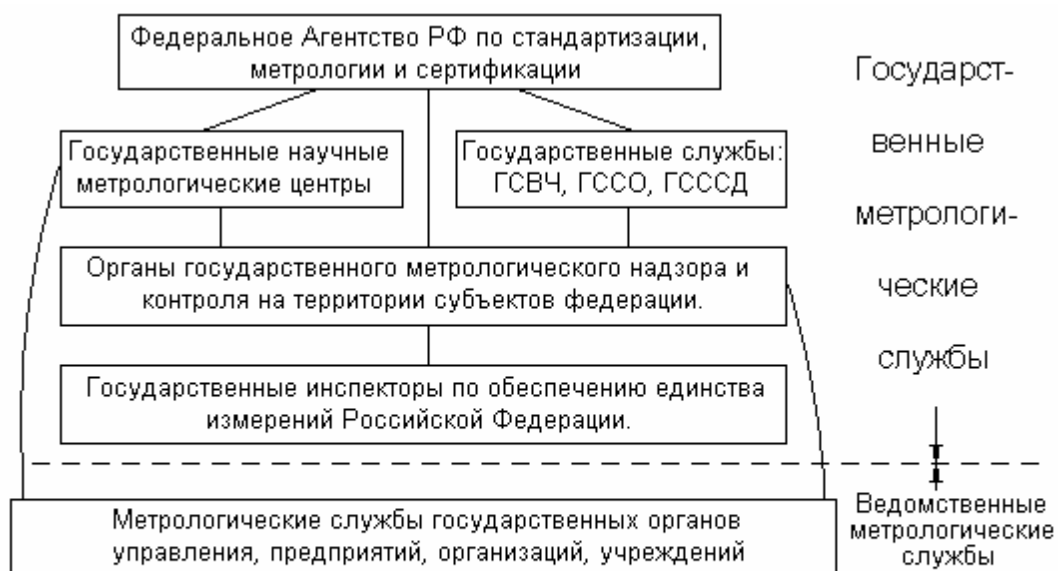


Рис. 19. Метрологические службы Российской Федерации

### Государственные научные метрологические центры

- несут ответственность за создание, совершенствование, хранение и применение государственных эталонов по своей специализации,
- разрабатывают нормативные документы по вопросам обеспечения единства измерений,
- проводят испытания средств измерений по своей специализации для целей утверждения типа,
- выполняют метрологическую экспертизу методик выполнения измерений, проектов, технических заданий на разработку изделий и иных документов,
- обеспечивают научное и методическое руководство органами государственного метрологического надзора и контроля на территориях субъектов федерации,
- осуществляют лицензирование деятельности по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений,
- осуществляют аккредитацию метрологических служб государственных органов, и других юридических лиц на право испытаний и сертификации средств измерений, а также на право аттестации методик выполнения измерений и проведения метрологической экспертизы документов.

Из приведенного перечня функций Федерального Агентства и научных метрологических центров следует, что основными сферами их деятельности яв-

ляются *законодательная* и *теоретическая* (или *фундаментальная*) *метрология*.

Законодательная метрология - раздел метрологии, предметом которой является установление единых метрологических правил и норм, направленных на обеспечение единства измерений, а также контроль за их исполнением.

Теоретическая (фундаментальная) метрология - раздел метрологии, предметом которого является разработка фундаментальных основ метрологии.

Основной сферой деятельности метрологических органов, находящихся ниже на структурной схеме рис. 19, является *практическая* (или *прикладная*) *метрология*.

Практическая (прикладная) метрология - раздел метрологии, предметом которого являются вопросы практического применения разработок теоретической метрологии и положений законодательной метрологии).

Государственные службы ГСВЧ, ГССО, ГСССД осуществляют межрегиональную и межотраслевую координацию работ по обеспечению единства измерений - по специализации служб.

Органы государственной метрологической службы, действующие на территории субъектов федерации, осуществляют на этой территории государственный метрологический надзор и контроль за соблюдением метрологических норм и правил, находящихся в сферах компетентности государственных органов.

Государственные инспекторы по обеспечению единства измерений - непосредственные исполнители работ по государственному метрологическому надзору и контролю на конкретных объектах. Для осуществления надзора и контроля государственный инспектор имеет право посещать любые предприятия независимо от их подчиненности и вида собственности. При выявлении нарушений метрологических правил и норм инспектор имеет право:

- запрещать применение дефектных средств измерений и при необходимости изымать такие средства измерения из эксплуатации,
- представлять предложения по аннулированию ранее выданных лицензий на метрологическую деятельность и по отмене решений об аккредитации метрологических лабораторий и служб,
- давать обязательные предписания о ликвидации нарушений метрологических правил и норм.

Метрологические службы и подразделения органов государственного управления, учреждений, предприятий и организаций всех видов собственности, в дальнейшем - метрологические службы юридических лиц

- проводят надзор за состоянием средств измерений и за соблюдением сроков периодических испытаний средств измерений,

- обеспечивают корректное применение средств измерений путем формирования математической модели объекта измерений и измеряемой величины и минимизации погрешности применения,

- выполняют своими силами или с привлечением сторонних организаций метрологическую экспертизу и аттестацию методик выполнения измерений, следят за соблюдением аттестованных методик выполнения измерений,

- выпускают обязательные предписания по обеспечению единства измерений в подведомственных им подразделениях.

Основным способом надзора за состоянием средств измерений является экспериментальное определение или контроль сохранности метрологических характеристик средств измерений при их метрологических испытаниях. Возможны два вида метрологических испытаний средств измерений: *поверка* и *калибровка*.

Обязательной поверке подвергаются средства измерений, подлежащие обязательному государственному метрологическому контролю и надзору.

Полномочия на право выполнения поверки подтверждаются путем аккредитации соответствующего предприятия или лаборатории Федеральным Агентством или государственным научным метрологическим центром - по специализации.

Калибровка выполняется метрологическими службами юридических лиц для собственных нужд. Метрологические службы юридических лиц могут быть аккредитованы государственными научными метрологическими центрами на право выполнения калибровочных работ. В этом случае аккредитованным метрологическим службам дается право выдавать сертификаты о калибровке от имени органов, которые их аккредитовали.

Сертификат об утверждении типа средств измерений - документ, выдаваемый уполномоченным на то государственным органом, удостоверяющий, что данный тип средств измерений утвержден в установленном порядке и соответствует установленным требованиям.

После утверждения типа средства измерений оно заносится в *государственный реестр средств измерений*.

Все услуги по поверке и калибровке средств измерений, метрологической экспертизе документов и по сертификации средств измерений подлежат оплате в соответствии с договорами, которые заключаются на этот предмет между заказчиком услуги и ее исполнителем.

Аккредитация метрологических служб юридических лиц на право выполнения метрологических работ выполняется по их инициативе на основе договоров, заключаемых с государственными научными метрологическими центрами, органами Федерального Агентства в соответствии с их специализацией.

Основные условия аккредитации:

- наличие необходимого метрологического и вспомогательного оборудования,
- наличие квалифицированного персонала,
- наличие библиотеки стандартов и других нормативных документов, необходимых для выполнения заявляемой деятельности,
- наличие помещений для проведения метрологических работ, соответствующих по площади, состоянию, условиям, санитарным нормам, требованиям выполнения измерений, поверки и калибровки.

## **7.2. Передача размеров единиц величин рабочим средствам измерений от государственных эталонов**

Основным практическим мероприятием, обеспечивающим единство размеров единиц однородных величин при каждом измерении этих величин вне зависимости от места выполнения измерений, является процедура передачи размера единицы величины от государственного эталона к рабочему средству измерений. Эта процедура, по сути дела, есть процедура передачи к рабочему средству измерений участка шкалы величины, и результат измерения получается путем сопоставления сигнала измерительной информации с этим участком шкалы.

Указанная процедура строго регламентируется соответствующими нормативными документами, которые называются *поверочными схемами*. Общие принципы составления поверочных схем, относящихся к различным величинам,



подлежащим измерениям, изложены в стандарте ГОСТ 8.061 “Государственная система обеспечения единства измерений. Поверочные схемы. Содержание и построение.”

В соответствии с действующими документами (например, МИ 2247-93 “Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные термины и определения”)

Поверочная схема - *нормативный документ*, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений, содержащий описание методов и погрешностей при передаче.

Терминология международных документов, применяемая для обозначения поверочной схемы, неоднозначна. Особенно большим разнообразием отличаются английские названия поверочной схемы: *traceability chart, verification chart*.

Общая структура соподчиненности средств измерений, участвующих в передаче размера единицы (участка шкалы) от государственного эталона рабочим средствам измерений, приведена в ГОСТ 8.061 и представлена на рис. 20.

Определения терминов, используемых в поверочных схемах, регламентированы МИ 2247-93.

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

Государственный первичный эталон - Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране точностью и признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на всей территории Российской Федерации.

Вторичный эталон - эталон, получающий размер единицы непосредственно от первичного эталона данной единицы.

Рабочий эталон - эталон, предназначенный для передачи размера единицы (участка шкалы) рабочим средствам измерений. Этот термин заменил собой термин “образцовое средство измерений. При необходимости рабочие эталоны подразделяют на разряды, количество которых не ограничено.

Эталон сравнения - эталон, применяемый для сличений эталонов, которые

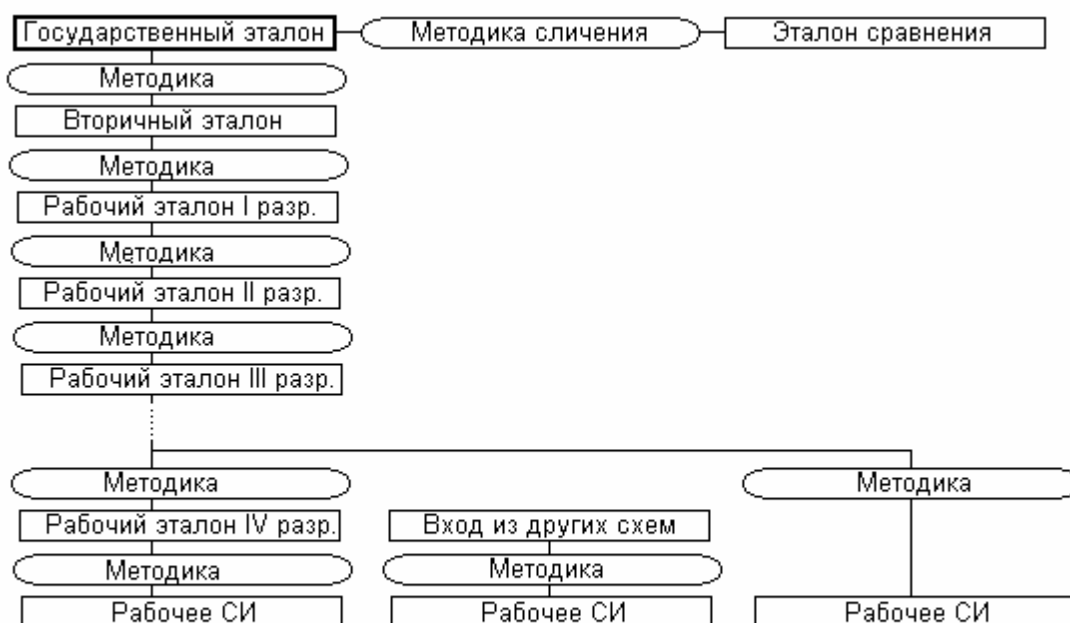


Рис. 20. Структура государственных поверочных схем

по тем или иным причинам не могут быть непосредственно сличены друг с другом.

Государственный первичный эталон находится во главе поверочной схемы, на ее высшей ступени. На той же ступени находится эталон сравнения, предназначенный для выполнения сличений с международным эталоном или круговых сличений государственных эталонов нескольких стран.

Для обеспечения надлежащей сохранности государственного эталона количество обращений к нему ограничивается. Поэтому предусматриваются вторичные эталоны, которые непосредственно взаимодействуют с наивысшим рабочим эталоном.

Две соседние ступени этой типовой схемы соединены методикой выполнения передачи единицы (части шкалы) со ступени на ступень. Средство измерений, стоящее на верхней ступени из двух соседних, и методика должны обеспечивать погрешность этого сличения не хуже, чем  $1/3$  от предела допускаемой погрешности, нормированного для рабочего эталона или рабочего средства измерений, стоящего на нижней ступени.

В поверочной схеме величины, зависящей от двух и более величин (например, электрической мощности) предусматривается вход из поверочной схемы другой (других) величин (показано на рис. 20).

Передача единицы (части шкалы) на самую нижнюю ступень выполняется при поверке (или калибровке) рабочего средства измерений. Требования к со-

отношению характеристик погрешности при этом сохраняются теми же, что установлены для остальных ступеней. Все методики кроме методик калибровки должны в обязательном порядке утверждаться уполномоченным на то государственным органом.

Количество ступеней в поверочных схемах раз личных величин может быть различной. Однако с увеличением количества ступеней точность передачи утрачивается. Поэтому обычно стремятся минимизировать количество этих ступеней. В частности, количество ступеней поверочной схемы времени и частоты может быть сокращено до двух за счет передачи по радиоканалу выходного сигнала эталона секунды, которая воспроизводится косвенно через количество периодов несущей частоты этого сигнала.

Для обеспечения единства измерений при выполнении количественного химического анализа используются стандартные образцы состава и свойств веществ и материалов. ГОСТ 8.315 “Государственная система обеспечения единства измерений. Стандартные образцы. Основные положения” устанавливает следующие категории стандартных образцов:

- государственные стандартные образцы (ГСО),
- отраслевые стандартные образцы (ОСО),
- стандартные образцы предприятий (СОП).

Стандартным образцам, включенным в поверочные схемы, присваиваются разряды.

В последнее время в связи с выходом новых международных нормативных документов в области метрологии и необходимостью приближения отечественных документов к международным предпринимаются шаги по пересмотру Российских нормативных документов. Этот пересмотр затронет, в основном, терминологию и приведет к снижению степени обязательности некоторых стандартов.

### **7.3. Метрологическое обеспечение разработки, производства и применения средств измерений**

Решение задачи обеспечения единства измерений невозможно без метрологического надзора за установлением значений метрологических характеристик средств измерений при их разработке и за сохранностью метрологических

характеристик средств измерений при их производстве, транспортировании, хранении и применении.

Общие рекомендации на этот счет приведены в международном документе № 16 МОЗМ “Принципы обеспечения метрологического управления” (“Principles of assurance of metrological control”.-OIML, Paris, France). На рис. 21 приведена структурная схема, иллюстрирующая эти принципы, которые не требуют специальных пояснений.

Эти принципы в полной мере соответствуют отечественной системе метрологического мониторинга разработки, испытаний, транспортирования, хранения и применения средств измерений, которая формировалась с развитием приборостроения и метрологии и поддерживается традициями, законодательными актами, стандартами и иными нормативными документами Российской Федерации.

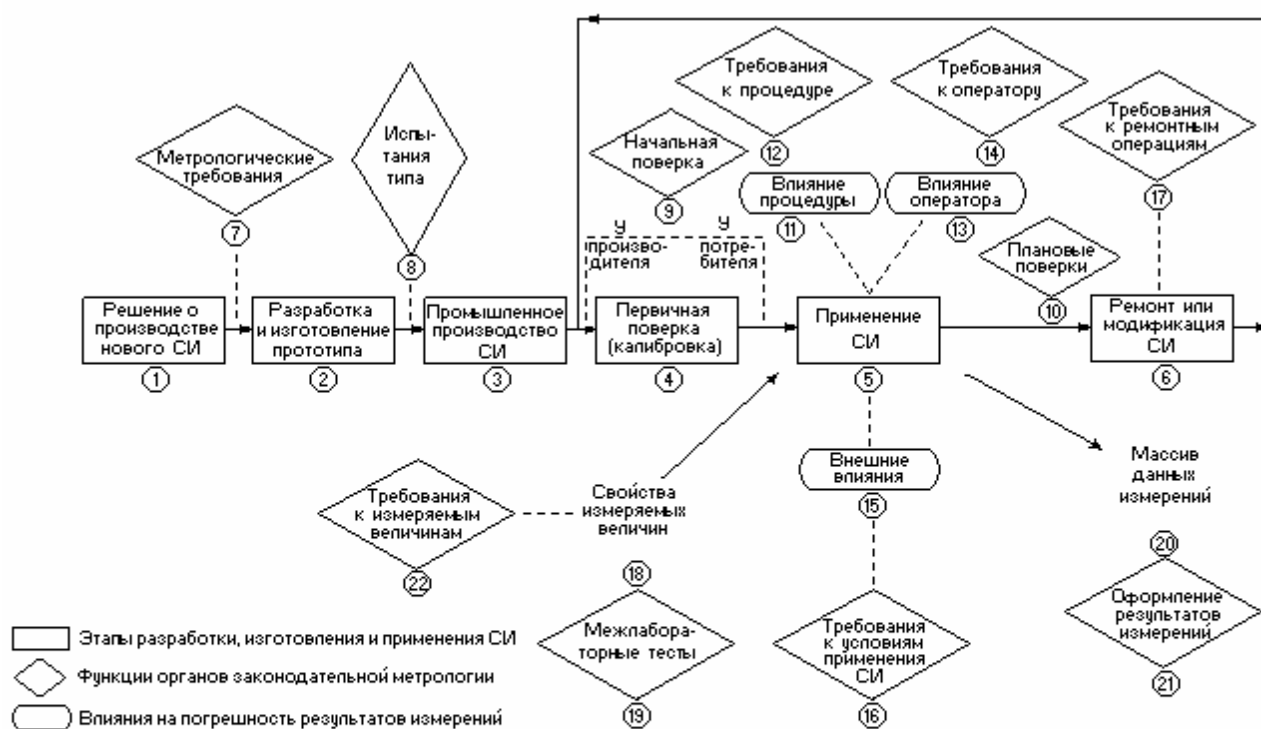


Рис. 21. Генеральная схема метрологического мониторинга средств измерений (по документу № 16 МОЗМ)

На рис. 22 приведена структурная схема этапов разработки, испытаний, производства и применения средств измерений, принятая в Российской Федерации.

На этой схеме отдельные этапы обозначены цифрами. Ниже приводится расшифровка этих цифровых обозначений.

1. Составление технического задания (ТЗ) на разработку средства измерений.

В диалоге с заказчиком составляется перечень метрологических характеристик, подлежащих нормированию, и устанавливаются нормы на эти характеристики. Должны быть учтены следующие обстоятельства:

- условия применения будущего средства измерений,
- требования стандарта ГОСТ 8.009, изложенные выше в п. 3.5.1,
- требования стандарта ГОСТ 8.513 “Государственная система обеспечения единства измерений. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения”,
- при разработке ИИС - требования стандартов ГОСТ 8.437 “Государственная система обеспечения единства измерений. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения” и ГОСТ 8.438 “Государственная система обеспечения единства измерений. Системы информационно-измерительные. Поверка. Общие положения”,
- если заказчик настаивает на нормировании таких метрологических характеристик, для контроля которых при калибровке или поверке рабочие эталоны

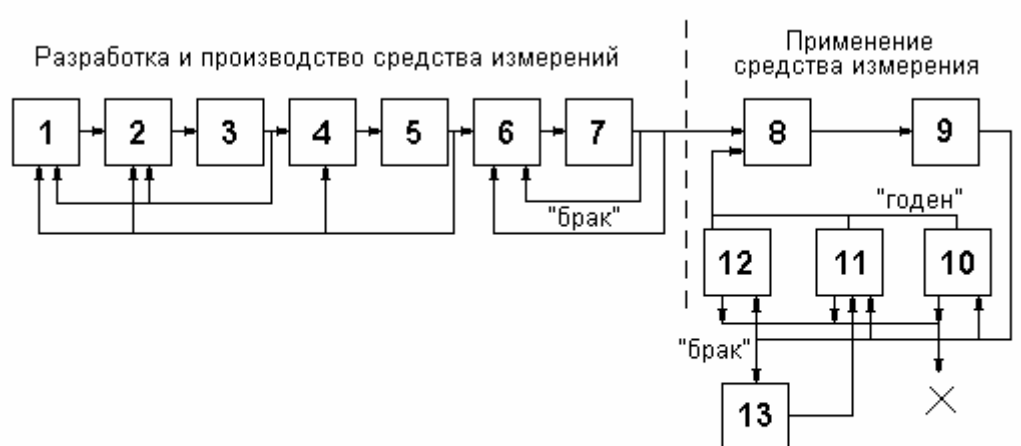


Рис. 22. Этапы разработки, производства, применения и метрологического контроля средств измерений

отсутствуют, то в соответствии с действующими правилами эти эталоны также должны быть разработаны за счет средств заказчика.

В соответствии с ГОСТ 8.395 “Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие тре-

бования” устанавливаются нормальные условия путем указания нормальной области значений всех влияющих величин.

При необходимости проводится метрологическая экспертиза ТЗ.

**2.** Разработка средства измерений в соответствии с ТЗ.

**3.** Заводские (лабораторные) испытания макета средства измерений и рабочего эталона, если таковой разрабатывается.

Проверяются возможности удовлетворения требованиям ТЗ, с каковой целью должны использоваться средства и методики, эквивалентные рабочим эталонам в отношении характеристик погрешности.

При отрицательных результатах - возврат к этапу **2.** или, в крайнем случае, - к этапу **1.** с целью пересмотра по согласованию с заказчиком требований ТЗ.

**4.** Изготовление опытного образца, одного или нескольких экземпляров. Разработка технических условий (ТУ) с обязательным разделом “Методы и средства поверки”. При необходимости составляется отдельный нормативный документ “Методы и средства поверки”. Эти документы при их утверждении являются основными при решении споров между заказчиком и исполнителями (разработчиком и производителем средства измерений). Следует учитывать:

- требования МИ 2178 “Государственная система обеспечения единства измерений. Порядок разработки, рассмотрения, утверждения и регистрации рекомендаций по метрологии, утверждаемых НПО и НИИ Госстандарта”,

- требования ГОСТ 8.513,

- если разрабатывается ИИС, - требования ГОСТ 8.438.

Содержание раздела (документа) “методы и средства поверки” приведено в приложении 1.

**5.** Приемочные испытания.

Если разрабатывается средство измерений специального назначения только для внутреннего использования на предприятии заказчика, эти испытания носят межведомственный характер. В приемочной комиссии должны быть представлены: заказчик, при необходимости - ведомство заказчика, предприятие-разработчик и предприятие - потенциальный изготовитель.

Если разрабатывается средство измерений широкого назначения и (или) подлежащее обязательному государственному метрологическому надзору и контролю, испытания выполняются государственными научными метрологическими центрами с целью утверждения типа средства измерений. В комиссии

должны быть представлены: предприятие-разработчик и предприятие - потенциальный изготовитель, а также иные организации и предприятия по требованию органа, проводящего испытания.

На испытания предъявляются:

- техническое задание на разработку,
- проект программы испытаний,
- проект ТУ с проектом документа “Методы и средства поверки”, если соответствующий раздел в ТУ отсутствует,
- предложение по установлению длительности интервала между периодическими поверками (см. также этап 11),
- протокол предварительных заводских (лабораторных) испытаний,
- опытные образцы разработанного средства измерений в установленном количестве,
- проект эксплуатационных документов,
- все перечисленное для рабочего эталона, если он разрабатывался.

При положительном результате испытаний, если целью этих испытаний было утверждение типа, выдается сертификат об утверждении типа средства измерений, утверждается ТУ и документ “Методы и средства поверки”, если он выполнен отдельно от ТУ, устанавливается длительность интервала между периодическими поверками, средство измерений заносится в государственный реестр средств измерений, разрешенных к применению. Процедура утверждения, согласования и регистрации ТУ регламентирована ГОСТ Р 1.3 - 93 “Государственная система стандартизации. Порядок согласования, утверждения и регистрации технических условий”.

При отрицательном исходе испытаний возможны варианты решений:

- признать разработку бесперспективной,
- вернуть все материалы на доработку на один из этапов, показанных на схеме рис. 22.

## **6. Производство и выпуск средства измерений.**

Метрологическое обеспечение этого этапа осуществляется путем:

- оснащения технологического процесса необходимыми средствами измерений, путем надзора и контроля за состоянием этих средств измерений,
- метрологической экспертизы технологической документации,

## **7. Выходной контроль при выпуске из производства.**

Метрологическое обеспечение этого этапа осуществляется путем организации и выполнения выходного метрологического контроля в соответствии с разделом ТУ или отдельным документом “Методы и средства поверки”, утвержденным на этапе **5**.

При отрицательном результате - возврат на производство (рис. 22).

#### **8. Входной контроль средств измерений пользователем**

Метрологическое обеспечение этого этапа осуществляется путем:

- обеспечения необходимыми рабочими эталонами и другим необходимым оборудованием,

- надзора и контроля за состоянием рабочих эталонов,

- организации и выполнения входного метрологического контроля в соответствии с разделом ТУ или отдельным документом “Методы и средства поверки”, утвержденным на этапе **5**.

При отрицательном результате - предъявление рекламации изготовителю.

#### **9. Применение средства измерений.**

Метрологическое обеспечение этого этапа осуществляется путем:

- разработки методик выполнения измерений в соответствии с ГОСТ 8.467 “Государственная система обеспечения единства измерений. Нормативно-технические документы на методики выполнения измерений. Требования к построению, содержанию и изложению” и МИ 2377 “Государственная система обеспечения единства измерений. Разработка и аттестация методик выполнения измерений” с учетом рекомендации МИ 1967-89 “Государственная система обеспечения единства измерений. Выбор методов и средств измерений при разработке методик выполнения измерений. Общие положения”,

- прогнозирования характеристик погрешностей результатов измерений, получаемых по этим методикам,

- выбора на основании этого прогноза подходящих средств измерений с учетом рекомендации МИ 1967-89,

- оценки характеристик погрешностей результатов измерений.

**10., 11., 12.** Операции надзора за состоянием средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении выполняются путем поверки или калибровки в соответствии с разделом ТУ или документом “Методы и средства поверки” утвержденном на этапе **5**.



При отрицательном исходе любой из этих процедур средство измерений изымается из применения и может быть либо утилизировано, либо отправлено в ремонт.

**10. Периодическая поверка** - поверка средств измерений, находящихся в эксплуатации или на хранении, выполняемая через установленные межповерочные интервалы времени.

При положительном исходе на средство измерений наносится *поверительное клеймо* с указанием срока очередной периодической поверки и может быть составлен сертификат поверки.

Межповерочные интервалы устанавливаются на этапе **5**. Длительность межповерочного интервала в зависимости от установленной стабильности свойств средств измерений может быть установлена от нескольких месяцев до нескольких лет. В соответствии с документом № 10 МОЗМ “Руководящие указания по определению интервалов времени между переподтверждениями измерительного оборудования, применяемого в испытательных лабораториях” длительность межповерочного интервала может быть изменена с учетом состояния средства измерения, регистрируемого при периодических и иных поверках.

**11. Внеочередная поверка** - поверка средства измерений, проводимая до наступления срока его очередной периодической поверки.

Выполняется при замеченном ухудшении метрологических свойств средства измерений или при подозрении в этом, при нарушении условий эксплуатации, повреждении поверительного клейма, после ремонта и (или) регулировки) и т.п.

**12. Инспекционная поверка** - поверка, проводимая органом государственной метрологической службы при проведении государственного надзора за состоянием и применением средства измерений.

**13. Ремонт или регулировка средства измерений.**

После этого этапа средство измерений направляется на этап **11**.

Для калибровки средств измерений, которая выполняется силами собственной метрологической службы, распоряжением этой службы могут быть установлены полностью или выборочно такие же разновидности, которые установлены для поверки.

#### **7.4. Государственные научные метрологические центры России**

Государственные научные метрологические центры Российской Федерации и их специализация:

*Всероссийский научно-исследовательский институт метрологии им. Д.И.Менделеева* (ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, 198005, Санкт-Петербург, Московский пр. 19) - главный государственный центр обеспечения единства измерений. Специализация:

- электрические и магнитные величины,
- масса, длина, угол, сила,
- линейные и угловые скорость и ускорение,
- параметры вибраций и удара,
- температура от 0°C и выше,
- теплофизика, пульсации температуры,
- скорость потоков жидкости и газа,
- переменные давления в жидкой среде,
- ионизирующие излучения (активность, дозиметрия,  $\alpha$ ,  $\beta$ , нейтронные),
- оптика (показатель преломления, колориметрия),
- физико-химические измерения, метрологическое обеспечение экологического мониторинга,
- метрологическое обеспечение робототехники.

*Всероссийский научно - исследовательский институт метрологической службы* (ВНИИМС, 119361, Москва, ул. Озерная, 46) - головная организация государственной метрологической службы. Специализация:

- абсолютное давление,
- высокое и сверхвысокое напряжение,
- шероховатость поверхностей,
- хроматографический количественный анализ,
- измерительные информационные системы.

*Всероссийский научно - исследовательский институт оптико-физических измерений* (ВНИИОФИ, 119361, Москва, ул. Озерная, 46)

- лазерное излучение (мощность, длина волны, фаза),
- яркость, колориметрия,
- измерения в медицине,
- неразрушающий контроль.

*Всероссийский научно - исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений (ВНИИФТРИ, 141570, Московская обл., Менделеево)*

- служба точного времени (время, частота),
- ионизирующие излучения (головной центр),
- температура (ниже 0°C),
- магнитная индукция,
- радиотехнические измерения (высокие частоты и СВЧ),
- твердость,
- акустика и гидроакустика,
- большие длины.

*Уральский научно - исследовательский институт метрологии (УНИИМ, 620219, Екатеринбург, Красноармейская ул. 4) - головной в области создания и хранения стандартных образцов веществ и материалов, а также ведения государственного реестра стандартных образцов веществ и материалов. Специализация:*

- стандартные образцы,
- трансформаторы тока,
- счетчики электрической энергии,
- отклонения от линейности,
- влажность зерна (государственный эталон).

*Сибирский научно - исследовательский институт метрологии (СНИИМ, 630004, Новосибирск, ул. Димитрова 4) - головной институт второй (Сибирской) эталонной базы, хранение резерва государственных эталонов в виде рабочих эталонов. Дополнительная специализация:*

- большие массы,
- уголь,
- тепловой поток.

*Всероссийский научно-исследовательский институт расходомерии (ВНИИР, 420029, Казань, ул. 2 Азинская, 7а).*

*Всероссийский научно-исследовательский институт стандартизации и сертификации агропромышленной продукции (ВНИИСагропродукт, 350063, Краснодар, ул. Пастовая, 36).*

*Метрологический центр министерства обороны* (Московская обл., Мытищи). Хранение всех рабочих эталонов по основным видам измерений, осуществление метрологического контроля и надзора за средствами измерений, эксплуатируемыми в организациях, учреждениях и подразделениях министерства обороны.

*Восточно - сибирский научно - исследовательский институт физико-технических и радиотехнических измерений* (664056, Иркутск, ул. Бородина, 57). Специализация:

- радиотехнические измерения,
- время, частота,
- измерение электрических величин.

*Дальстандарт* (680000, Хабаровск, ул К.Маркса, 65). Специализация:

- теплофизика,
- неразрушающий контроль.

## **7.5. Международные метрологические организации**

Международная научная и практическая деятельность по обеспечению единства измерений координируется несколькими международными организациями, разграничивающими области своей компетенции по научно - техническому и территориальному признакам.

*BIPM - Bureau International des Poids et Mesures (МБМВ - Международное бюро мер и весов, Севр, Франция)* - первая международная организация. Основной вид деятельности - координация работ по международным сличениям государственных эталонов.

*OIML - Organisation Internationale de Metrologie Legale (МОЗМ - Международная организация законодательной метрологии, Париж, Франция)* - координирует разработку международных нормативных документов, регламентирующих основные метрологические нормы и правила в области испытаний и применения средств измерений, нормирования и контроля метрологических характеристик средств измерений, разработки и экспертизы методик выполнения измерений и оценки характеристик погрешности измерений.

Деятельность этих двух организаций поддержана нормативными документами, которые разрабатываются с их участием *Международной организацией*

по стандартизации - ИСО (*International Organisation for Standardization - ISO, Geneva, Switzerland*). С другой стороны, в документах ИСО применяются метрологические рекомендации, разработанные МБМВ и МОЗМ.

Международная электротехническая комиссия - МЭК (*International Electrotechnical Commission - IEC, Geneva, Switzerland*), применяет в метрологических разделах своих документов правила и методы, установленные МБМВ, МОЗМ, ИСО.

Научная деятельность, посвященная развитию науки об измерениях, теории и практики измерений, проблемам обучения метрологии и измерениям, координируется Международной Измерительной Конфедерацией - ИМЕКО (*International Measurement Confederation - IMEKO, Budapest, Hungary*) посредством организации и проведения международных конгрессов, симпозиумов, научных школ по широкому кругу проблем теории измерений, теоретической, прикладной и законодательной метрологии.

С целью объединения усилий и средств для выполнения дорогостоящих метрологических работ, таких, как создание эталонов, использование эталонов, выполнение поверочных и калибровочных работ, унификации законодательных документов метрологические институты и метрологические лаборатории стран Северной Америки и стран - членов ЕЭС в конце 80 -х годов начали создавать союзы.

В объединенной Европе созданы следующие союзы сотрудничающих институтов и лабораторий.

*EUROMET (EBPOMET* - сотрудничество европейских институтов по метрологии) - координирует совместную в рамках стран - членов ЕЭС разработку эталонов и сложных измерительных систем во избежание дублирования, а также совместное использование этих эталонов и установок.

*WELMEC* - Западно - Европейское сотрудничество в области законодательной метрологии.

*WECC* - Западноевропейский калибровочный союз.

*WELAC* - Западноевропейское сотрудничество по аккредитации испытательных лабораторий.

В 1991 году между калибровочными службами стран, входящих в ЕЭС и ЕАСТ (Европейская ассоциация свободной торговли) были заключены первые двусторонние соглашения по взаимному признанию сертификатов о калибровке

средств измерений. Эти соглашения были утверждены Европейской организацией по испытаниям и сертификации.

По примеру Европы в 1993 году США, Канада и Мексика организовали союз метрологических институтов NORAMET. Цели этого союза и формы сотрудничества аналогичны тем, которыми руководствуется ЕВРОМЕТ.

Перечисленные европейские объединения и союзы действуют при административной поддержке правительства и парламента объединенной Европы.

КООМЕТ - Восточно-Европейская организация по метрологии, в которую входят следующие государства: Беларусь, Болгария, Германия, Казахстан, Куба, Литва, Молдова, Польша, Россия, Румыния, Словакия, Украина.

## **8. Стандартизация**

### **8.1. Значение стандартизации для общества**

Цели стандартизации, установленные Законом РФ “О техническом регулировании” (далее - Законом РФ) и цитированные в п. 3, свидетельствуют о том, что стандартизация охватывает практически все сферы деятельности и жизни людей. Продукт стандартизации, как вида деятельности, - это стандарты и другие нормативные документы всех видов (далее - стандарты). Стандарты являются разновидностью законодательных актов, непосредственно устанавливающих конкретные правила, нормативы и численные выражения требований и норм. Они регулируют отношения между исполнителями и потребителями разнообразных услуг, между заказчиком и производителем продукции, между природоохранными органами и субъектами хозяйственной деятельности, между работниками и работодателями в части выполнения обязательных мер по санитарии и безопасности труда, между участниками арбитражного или судебного производства. Стандартами устанавливаются нормы на параметры среды обитания населения, обеспечивающие безопасность жизнедеятельности. Мало того, должно выполняться требование о включении в договор, заключаемый между заказчиком и исполнителем, условий о соответствии работ и услуг действующим стандартам. При разработке федеральных или республиканских программ, в том числе, оборонного значения, в этих программах должны быть предусмотрены разделы нормативного обеспечения качества работ, то есть разделы разработки нормативной документации (стандартов, технических условий, справочников, методик испытаний и измерений и т.д.).

Стандартизация играет значительную роль в международных отношениях при торговле, при разделении труда и научно-технической кооперации, при разрешении споров в области экологии, поскольку международные стандарты, признанные сотрудничающими странами, устанавливают единые правила, нормы и технические требования к изделиям, продукции и к услугам и к их безопасности для здоровья, к методам испытаний и контроля качества изделий, продукции и услуг, к совместимости технических компонент изделий и сооружений, создаваемых совместно, к информационной совместимости средств связи и т.д. При этом, в соответствии с Законом РФ если правила, установленные в отечественных стандартах, не соответствуют правилам, установленным в международных договорах Российской Федерации, то применяются правила международного договора.

Выполнение требований стандартов и других нормативных документов проверяется по единым для каждого вида продукции и услуг стандартизованным методикам, чтобы обеспечивалось взаимное доверие и признание результатов испытаний и, при необходимости, - объективное рассмотрение рекламаций и иных претензий. Проверка удовлетворения требованиям международных и национальных (государственных) стандартов выполняется при таможенном контроле, при лицензировании или аккредитации предприятий на право деятельности в той или иной сфере, при возникновении претензий по поводу качества изделий, сооружений, продуктов питания, услуг, при судебном или арбитражном производстве, а также по поводу нарушения правил санитарии и гигиены на объектах хозяйственной деятельности, загрязнения среды обитания. Подобная проверка может выполняться также по инициативе Федерального Агентства или иного компетентного государственного органа в профилактических целях или при подозрении в возможных нарушениях.

Непосредственное осуществление государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований государственных стандартов проводится должностными лицами Госстандарта - государственными инспекторами по надзору за государственными стандартами, находящимися под охраной государства. В случае нарушений, выявленных при проверке, государственный инспектор имеет право на следующие действия: от выдачи предписаний по исправлению нарушений до представления в соответствующие органы, вплоть до прокуратуры, предложений по санкциям в отношении нарушителя. В число возможных санкций входят:

- штрафование нарушителей,
- аннулирование ранее выданных сертификатов на продукцию и услуги,

- лишение лицензий на право деятельности,
- аннулирование решений об аккредитации,
- возбуждение дел об уголовной, административной или гражданской ответственности.

При штрафовании нарушителей в распоряжение органов Федерального Агентства и других государственных органов в соответствии с Постановлением Верховного Совета РФ от 10.06.93 № 5156-1 поступает 20% от суммы полученных штрафов.

Помимо перечисленных мер административного воздействия субъекты всех сфер деятельности имеют объективный стимул для исполнения требований стандартов, а именно, сохранение и расширение рынка сбыта своей продукции и услуг.

В своей деятельности государственные инспекторы должны защищать интересы потребителей, субъектов хозяйственной деятельности и государства и несут ответственность, в частности, за разглашение государственной и коммерческой тайны, которой они вынужденно овладевают в процессе своей работы. Так, например, стандарты, связанные с военной техникой, связью, деятельностью ФСБ и новыми технологиями могут содержать секретные сведения, не подлежащие разглашению в интересах военной и экономической безопасности государства.

Все эти обстоятельства подчеркивают большое значение стандартизации для общества и высокую ответственность этой деятельности за создание непротиворечивой системы стандартов и иных нормативных документов, которые наряду с регламентацией жестких правил и норм не должны быть тормозом для технического прогресса и развития всех сфер жизни общества.

## **8.2. Государственная система стандартизации России**

Основополагающим стандартом государственной системы стандартизации России является ГОСТ Р 1.0-92 “Государственная система стандартизации Российской Федерации. Основные положения”. Всем стандартам этой системы присваивается регистрационный номер, начинающийся с признака этой системы ‘1.’. Далее следует порядковый номер стандарта этой системы. После него через тире - год утверждения стандарта. При ссылках на стандарты всех систем год утверждения не указывается. В настоящем курсе мы придерживаемся этого правила за исключением нижеследующего перечня.

Названия всех стандартов этой системы начинаются словами “Государственная система стандартизации Российской Федерации.” (ГСС). Затем следует



название конкретного стандарта. В настоящее время действуют следующие стандарты ГСС, утвержденные в 1992 году (название системы дается в сокращении ГСС:

- ГОСТ Р 1.2 -92 “ГСС. Порядок разработки государственных стандартов”,
- ГОСТ Р 1.3 -92 “ГСС. Порядок согласования, утверждения и регистрации технических условий”,
- ГОСТ Р 1.4 -92 “ГСС. Стандарты предприятия. Общие положения”,
- ГОСТ Р 1.5 -92 “ГСС. Общие требования к построению, изложению, оформлению и содержанию стандартов”.

В основополагающем стандарте приведены термины и определения, касающиеся стандартизации, цели и принципы стандартизации, порядок организации работ по стандартизации.

Установлены следующие категории нормативных документов:

- государственный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р, утверждается Федеральным Агентством или Министерством архитектуры, строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации,

- отраслевой стандарт ОСТ, утверждается министерством (ведомством) Российской Федерации,

- стандарт предприятия СТП - стандарт, утвержденный на предприятии и применяемый только на данном предприятии,

- технические условия ТУ- нормативный документ на конкретную продукцию (услугу), утвержденный предприятием-разработчиком по согласованию с предприятием-заказчиком (потребителем),

- стандарты научно-технических и инженерных обществ, ассоциаций и иных общественных объединений СТО - разрабатывают, утверждают и применяют в порядке, установленном этими обществами,

- международный стандарт - стандарт, принятый международной организацией по стандартизации (ИСО),

- региональный стандарт - стандарт, принятый региональной международной организацией по стандартизации (например, стандарты ЕЭС имеют аббревиатуру EN),

- межгосударственный стандарт (ГОСТ) - стандарт, принятый государствами, присоединившимися к соглашению о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации и применяемый ими непосредственно.

Как правило, стандарты принимаются при наличии консенсуса заинтересованных сторон, ибо стандарты разрабатываются с участием этих сторон и не

должны служить средством принуждения или препятствием в развитии их отношений.

Разработка стандартов предприятия выполняется в соответствии с ГОСТ Р 1.4 и ГОСТ Р 1.5. Объектами стандартизации стандарта предприятия являются:

- составные части продукции, не являющиеся объектами самостоятельной поставки, технологическая оснастка и инструмент,
- технологические процессы, а также общие технологические нормы и требования к ним,
- услуги, оказываемые внутри предприятия,
- процессы организации и управления производством.

В качестве стандарта предприятия допускается применение международных, региональных и национальных стандартов других стран, если они не противоречат отечественным стандартам и отсутствуют разработанные на их основе стандарты России.

Стандарты предприятия не подлежат государственной регистрации.

Стандарты предприятия утверждает руководитель предприятия без ограничения срока действия.

Кроме перечисленных категорий существуют следующие нормативные документы

- методика института - научного метрологического центра (МИ),
- рекомендательный документ (РД),
- типовая программа (ТПр),
- правила (ПР).

В ГОСТ Р 1.0 установлены следующие виды стандартов:

- стандарты основополагающие (имеют организационно-методический характер),
- стандарты на продукцию, услуги,
- стандарты на процессы,
- стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа).

В государственной системе стандартизации России существуют несколько частных видов систем стандартизации, объединенных общими проблемами. Регистрационные номера стандартов и других нормативных документов, относящихся к одной частной системе, имеют в своем названии наименование системы стандартизации, а первые цифры, отделенные точкой от последующих - обозначают шифр этой системы. Приведем примеры обозначений наиболее употребляемых частных систем стандартизации:

- Единая система конструкторской документации  
(ГОСТ 2. xxx “ЕСКД. ....”),
- Государственная система обеспечения единства измерений  
(ГОСТ 8. xxx “ГСИ. ....”),
- Единая система технологической документации  
(ГОСТ 3.xxx “ЕСТД. ....”),
- Прикладная статистика  
(ГОСТ 11.xxx “Прикладная статистика. ....”),
- Система стандартов безопасности труда  
(ГОСТ 12.xxx “ССБТ. ....”),
- Единая система технологической подготовки производства  
(ГОСТ 14.xxx “ЕСТПП. ....”),
- Система разработки и постановки продукции на производство  
(ГОСТ 15. xxx “СРПП. ....”),
- Охрана природы  
(ГОСТ 17.xxx “Охрана природы. ....”),
- Единая система программной документации  
(ГОСТ 19.xxx “ЕСПД. ....”),
- Единая система стандартов приборостроения  
(ГОСТ 26. xxx “ЕССП. ....”).
- Надежность в технике  
(ГОСТ 27.xxx “Надежность в технике. ....”)
- Информационная технология  
(ГОСТ 34.xxx “Информационная технология .....”)
- Система сертификации ГОСТ Р  
(ГОСТ 40.xxx “Система сертификации. ....”).

### **8.3. Требования к содержанию стандартов на процессы и на продукцию.**

**1\***. На продукцию, услуги разрабатывают:

- стандарты общих технических условий, которые должны содержать общие требования к группам однородной продукции,
- стандарты технических условий, которые должны содержать требования к конкретной продукции, услуге.

Любой стандарт на продукцию, услуги должен содержать разделы:

- 1 Классификация, основные параметры, условное обозначение продукции,
- 2 Общие технические требования, в составе подразделов:

- 2.1 Характеристики, свойства
    - 2.1.1 требования назначения,
    - 2.1.2 метрологические характеристики (для средств измерений),
    - 2.1.3 требования надежности,
    - 2.1.4 требования радиоэлектронной защиты,
    - 2.1.5 требования к стойкости к воздействиям и живучести,
    - 2.1.6 требования эргономики,
    - 2.1.7 требования технологичности,
    - 2.1.8 конструктивные требования.
  - 2.2 Требования к сырью, материалам, покупным изделиям
    - 2.2.1 применение или ограничение применения сырья, материалов,
    - 2.2.2 применение вторичного сырья и отходов производства.
  - 2.3 Комплектность,
  - 2.4 Маркировка
  - 2.5 Упаковка.
- 3 Требования безопасности
- 3.1 требования электробезопасности,
  - 3.2 требования пожарной безопасности,
  - 3.3 требования взрывобезопасности,
  - 3.4 требования радиационной безопасности,
  - 3.5 требования химической безопасности,
  - 3.6 требования к защитным средствам и мероприятиям.
- 4 Требования охраны окружающей среды.
- 5 Правила приемки.
- 6 Методы контроля.
- 7 Транспортирование и хранение.
- 8 Указания по эксплуатации.
- 9 Гарантии изготовителя.

**2\***. Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) должны обеспечивать объективную проверку всех обязательных требований к контролируемому объекту.

Для каждого метода в зависимости от специфики его проведения устанавливают:

- средства контроля и вспомогательные устройства,

- порядок подготовки к проведению контроля,
- порядок проведения контроля,
- правила обработки результатов контроля,
- допустимую погрешность измерений при контроле.

При указании средств контроля приводят перечень применяемого оборудования или метрологические характеристики, необходимые для обеспечения контроля с заданной точностью, а также перечень материалов и реактивов.

При применении оборудования или реактивов, изготавливаемых специально для данного испытания, производство которых отсутствует, в тексте документа или в приложении дают описание, схемы, рецептуру и т.п.

При изложении порядка подготовки к проведению контроля описывают соответствующую процедуру. При подготовке к химическому контролю указывают место и способ отбора образцов (проб), форму, вид, размеры или массу, а при необходимости, условия их хранения и (или) транспортирования.

При необходимости следует приводить структурную и функциональную схему измерительной установки, а также схемы соединения приборов или аппаратов.

При изложении требований к методике проведения контроля приводят характеристики условий контроля с допустимыми пределами их значений и погрешности воспроизведения, а также последовательность проводимых операций. если эта последовательность влияет на результат.

При изложении правил обработки результатов контроля приводят расчетные формулы и описание программ (если расчеты выполняются на компьютере). В приложении приводится текст исходный текст программы с указанием мер, предпринятых для ее защиты от несанкционированного редактирования.

При изложении требований к оформлению результатов контроля устанавливают требования к протоколам контроля, форму таблиц, к содержанию и последовательности включаемых в них данных.

При изложении требований к точности измерений при контроле указывают допустимую погрешность измерений, точность вычислений и степень округления данных, а также приводят сведения о воспроизводимости и повторяемости результатов, обеспечиваемых данным методом контроля.

**3\***. В соответствии с ГОСТ Р 1.5 стандарты на процессы должны содержать в себе требования к методам и приемам выполнения процессов, к условиям их выполнения, требования к обеспечению безопасности персонала, объекта

и населения, а также требования охраны окружающей среды в части воздействия на нее стандартизуемых процессов.

**4\***. Общие правила работы со стандартами.

При ссылке на стандарт не указывается год его выпуска.

Не допускается цитировать стандарты в законодательных и иных нормативных документах, в том числе, в стандартах.

Эти правила обоснованы тем, что при их соблюдении в случае пересмотра цитируемого или ссылочного стандарта не потребуется пересматривать документ, в котором сделана ссылка на него.

#### **8.4. Межгосударственная система стандартизации**

В межгосударственную систему стандартизации в соответствии с Соглашением от 13.03.92 № 12/1 (г. Москва) о проведении согласованной политики в области стандартизации, метрологии и сертификации” (далее Соглашением) и протоколом совещания руководителей органов государственного управления строительством “Об организации межгосударственного сотрудничества в области стандартизации и технического нормирования в строительстве” от 06.06.92 (г. Минск) входят:

Азербайджанская республика,  
Республика Армения,  
Республика Беларусь,  
Республика Грузия,  
Республика Казахстан,  
Кыргызская республика,  
Республика Молдова,  
Российская Федерация,  
Республика Таджикистан,  
Туркменистан,  
Республика Узбекистан,  
Украина.

Объектами межгосударственной стандартизации являются объекты, представляющие межгосударственный интерес.

За основу межгосударственной системы стандартизации принята система стандартизации Российской федерации. Основные положения, изложенные в

предыдущем пункте, регистрационные номера и основное содержание российских стандартов сохранены за исключением следующих позиций:

- основополагающие стандарты межгосударственной системы стандартизации утратили в своем обозначении букву 'Р' и к ним применяется аббревиатура 'ГОСТ',

- стандарт ГОСТ 1.5 этой системы допускает публикацию стандартов системы кроме русского языка на государственном языке каждого из участников упомянутых соглашений,

- стандарты межгосударственной системы стандартизации считаются принятыми, если за них проголосует хотя бы два государства, остальные могут присоединяться по мере необходимости с предварительным извещением об этом решении,

- если государство-участник Соглашения, ранее проголосовавшее за принятие стандарта или присоединившееся к нему, имеет намерение прекратить его применение на своей территории без замены другим нормативным документом, оно направляет уведомление с указанием причины не позднее, чем за 9 месяцев до прекращения применения в компетентные органы Соглашения, а также в национальные органы по стандартизации государств - участников Соглашения.

## **8.5. Международное сотрудничество в области стандартизации**

Российская Федерация осуществляет международное сотрудничество в области стандартизации путем непосредственного участия в разработке международных стандартов. Российская Федерация имеет свои представительства в основных организациях, разрабатывающих международные стандарты: в ИСО, МЭК, ЕВРОХИМ и других.

Основной международной организацией по стандартизации является ИСО (International Organisation for Standardization, 1, rue de Varembé, Genève, Switzerland). Несмотря на рекомендательный характер большинства стандартов, разрабатываемых в рамках деятельности ИСО, эти стандарты транслируются во многих странах и применяются в них в качестве национальных стандартов. В особенности это касается стандартов в области управления качеством производства продукции и предоставляемых услуг. Наиболее значимыми среди стандартов ИСО являются стандарты серии ИСО 9000 "Стандарты в области управления качеством и обеспечения

качества” и стандарты серии ИСО 10012 “Требования по обеспечению качества измерительного оборудования”.

В частности, стандарты серии ИСО 9000 применяются при решении вопросов о присуждении престижной ежегодной европейской премии качества предприятиям европейских стран. При этом необходимо отметить обязательные требования каждого из стандартов этой серии к выполнению работ по метрологическому обеспечению производства, как к одному из важнейших факторов обеспечения высокого качества выпускаемой продукции и оказываемых услуг.

В Российской Федерации адаптируются стандарты ИСО и МЭК в русском переводе, как государственные стандарты. Пример обозначения государственного стандарта Российской Федерации, оформленного на основе применения аутентичного текста международного стандарта ИСО 9591-1993: ГОСТ Р ИСО 9591-93. Точно таким же образом должен обозначаться государственный стандарт, оформленный на основе аутентичного текста стандарта МЭК. Пример : ГОСТ Р МЭК 512-94.

## **9. Сертификация**

### **9.1. Цели и значение сертификации**

В соответствии с Законом РФ “О техническом регулировании” основными целями сертификации являются:

- содействие потребителям в компетентном выборе продукции,
- защита потребителя от недобросовестности изготовителя (продавца, исполнителя),
- контроль безопасности продукции для окружающей среды, жизни, здоровья и имущества,
- подтверждение показателей качества продукции, заявленных потребителем.

Для достижения этих целей выполняется сертификация не только конечной продукции или оказанной услуги, но и сертификация систем обеспечения качества производства продукции и услуг.

Сертификация может выполняться путем испытания продукции в специальных испытательных лабораториях, а также путем экспертизы, для которой в качестве экспертов - аудиторов могут быть привлечены квалифицированные специалисты.

Законом предусмотрено создание систем сертификации, участниками которых могут быть государственные органы, а также предприятия любой формы



собственности и ведомственного подчинения, а также некоммерческие общественные организации и объединения.

Документом, подтверждающим положительный результат сертификации, является *сертификат соответствия*. Кроме сертификата для этой же цели может применяться *знак соответствия*, который устанавливается каждой системой сертификации и может применяться после его обязательной государственной регистрации. Правила государственной регистрации знака соответствия устанавливает Федеральное Агентство РФ по стандартизации, метрологии и сертификации (далее - Федеральное Агентство).

Реклама продукции, подлежащей обязательной сертификации, но не имеющей сертификата соответствия, запрещена. В этой ситуации сертификат соответствия, полученный от системы добровольной сертификации, запрета не снимает.

В целях создания условий для участия в международном научно-техническом и экономическом сотрудничестве, а также в международной торговле отечественные нормативные документы согласуются с международными нормативными документами по сертификации и контролю систем обеспечения качества на предприятиях. Это европейские нормы серии EN 45000, стандарты ИСО серии 9000, а также совместные документы ИСО и МЭК.

Ввоз на территорию Российской Федерации продукции и услуг возможен при наличии сертификата Российской Федерации или сертификата изготовителя (поставщика), признанного Федеральным Агентством.

Отношения в области сертификации регулируются Законом РФ “О техническом регулировании”, а также законодательными актами РФ и нормативными документами, которые разрабатывают организации и подразделения службы сертификации.

Если международным договором Российской Федерации установлены правила, не соответствующие законодательству Российской Федерации, то применяются правила международного договора.

## **9.2. Организационная структура службы сертификации**

В состав структуры службы сертификации России входят (перечисляются в иерархическом порядке):

- Федеральное Агентство РФ по стандартизации, метрологии и сертификации,

- системы сертификации однородной продукции, услуг, систем качества предприятий,

- центральные органы систем сертификации,

- органы сертификации,

- испытательные лаборатории (центры).

Описанная структура представлена на рис. 23.

В компетенцию Федерального Агентства входит:

- формирование государственной политики в области сертификации,



Рис. 23. Структура службы сертификации России

- создание и государственная регистрация систем сертификации однородной продукции и услуг, а также однородной производственной деятельности предприятий всех форм собственности,

- представительство в международных (региональных) организациях по вопросам сертификации,

- установление правил признания зарубежных сертификатов, знаков соответствия и результатов испытаний,

- установление правил аккредитации и аккредитация органов сертификации и испытательных лабораторий систем сертификации,

- проведение государственного контроля и надзора за соблюдением правил сертификации, рассмотрение апелляций,

- выдача системам сертификации сертификатов и лицензий на применение знака соответствия.

Некоторые из перечисленных функций Федеральное Агентство может поручить другим государственным органам с выдачей соответствующей лицензии.

*Система сертификации* представляет собой совокупность участников сертификации однородной продукции, услуг и деятельности, осуществляющих сертификацию по правилам, установленным в данной системе в соответствии с Законом РФ “О техническом регулировании”. В систему сертификации могут входить предприятия, учреждения и организации любой формы собственности, в том числе, некоммерческие организации и объединения. В систему сертификации могут входить несколько систем сертификации однородной продукции и услуг.

В системе сертификации разрабатываются нормативные документы, в которых устанавливаются:

- объекты сертификации,
- организационная структура системы,
- функции участников системы,
- правила и порядок выполнения работ и форма сертификации,
- экономические принципы функционирования системы сертификации,
- знак соответствия и правила его применения,
- положение о порядке аккредитации органов сертификации и испытательных лабораторий,
- положения об органах сертификации и об испытательных лабораториях.

Перечисленные нормативные документы системы сертификации должны соответствовать Закону РФ “О техническом регулировании” и иным законодательным актам. При этом условии они являются основой для принятия решения о государственной регистрации данной системы.

*Центральный орган системы сертификации:*

- организует и координирует работу в возглавляемой им системе сертификации,
- рассматривает апелляции заявителей по поводу действий органов сертификации и испытательных лабораторий.

*Органы сертификации:*

- выполняют сертификацию, выдают сертификаты соответствия и лицензии на применение знака соответствия,
- приостанавливают или отменяют действие ранее выданных сертификатов.

*Испытательные лаборатории* осуществляют испытания продукции или оборудования предприятий (при сертификации их систем качества) и оформляют протоколы испытаний для целей сертификации. Форма и содержание протоколов должны соответствовать документу ИСО/МЭК - 45 "Руководящие положения по представлению результатов испытаний".

Представленная структура и функции в равной степени относятся к системам как обязательной, так и добровольной сертификации.

### **9.3. Государственная регистрация, аккредитация и лицензирование**

Государственная регистрация систем сертификации осуществляется Федеральным Агентством или иным полномочным государственным органом по результатам рассмотрения предъявленных нормативных документов. При государственной регистрации системы выполняется также:

- государственная регистрация знака соответствия системы сертификации,
- аккредитация органов сертификации.

Органы сертификации аккредитуют испытательные лаборатории системы и представляют их в государственные органы в целях получения лицензии на право выполнения работ.

При аккредитации и лицензировании органов сертификации и испытательных лабораторий предусматривается также сертификация систем качества самих этих органов и лабораторий, а также проводится проверка персонала на компетентность. В качестве руководящих методических материалов используются действующие международные документы, перечень которых приводится ниже.

ИСО 9000	"Общее руководство качеством и стандарты по обеспечению качества".
ИСО 10011 Часть 1	"Руководящие указания по проверке систем качества".
Руководство ИСО/МЭК-25	"Общие требования к оценке технической компетентности испытательных лабораторий"

Руководство ИСО/МЭК-38	"Общие требования к приемке испытательных лабораторий".
Руководство ИСО/МЭК-43	"Организация и проведение проверок на компетентность".
Руководство ИСО/МЭК-45	"Руководящие положения по представлению результатов испытаний",
Руководство ИСО/МЭК-49	"Руководящие положения по разработке руководства по качеству для испытательных лабораторий".
Руководство ИСО/МЭК-54	"Системы аккредитации испытательных лабораторий. Общие требования к приемке органов по аккредитации".
Руководство ИСО/МЭК-55	"Системы аккредитации испытательных лабораторий. Общие рекомендации по руководству действием систем",
Руководство ИСО/МЭК-56	"Орган по сертификации, методика оценки внутренней системы обеспечения качества".
EN 45003	"Общие критерии для органов по аккредитации лабораторий".
EN 45011	"Общие критерии для органов по сертификации, занимающихся сертификацией продукции".
EN 45012	"Общие критерии для органов по сертификации, занимающихся сертификацией систем качества."
EN 45013	"Общие критерии для органов по сертификации, занимающихся сертификацией персонала"

Более подробно с кругом работ в области сертификации можно ознакомиться по учебному пособию С.Н.Колпашникова и И.Б.Челпанова "Сертификация", Изд-во "Политехника", СПб, 2000 г.

Приложение 1

### **Классификация погрешностей средств измерений и результатов измерений**

В соответствии с определениями и видами погрешностей средств измерений и результатов измерений эти погрешности классифицируются по следующим признакам.

Признак - происхождение:

- инструментальные,
- *методические погрешности*, то есть погрешности, вызванные несовершенством используемого метода измерений,
- погрешности применения.

Признак - условия эксплуатации :

- *основная погрешность (intrinsic error)* - погрешность средства измерений, то есть инструментальная погрешность в *нормальных условиях эксплуатации (in reference conditions)*,
- погрешность в *рабочих условиях эксплуатации (in normal conditions)* - состоит из двух составляющих: основной погрешности и *дополнительной погрешности*.

Такое разделение погрешностей необходимо для того, чтобы обеспечить арбитражные испытания средств измерений в одних и тех же условиях. Это обстоятельство подчеркнуто в английском наименовании нормальных условий: "*reference conditions*".

Нормальные условия эксплуатации устанавливаются в соответствии с ГОСТ 8.395 "Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования". Нормальные условия - это довольно жесткие ограничения на пределы допускаемых изменений значений влияющих величин (например, температуры и влажности окружающей среды, атмосферного давления, параметров внешних электрических и магнитных полей, напряжения питания, солнечной радиации, амплитуды вибраций, интенсивности солнечной радиации и других), при которых определяется и контролируется основная погрешность средств измерений во время их метрологических испытаний. Такие ограничения необходимы для обеспечения взаимного доверия к результатам контроля метрологических характеристик, проводимого в стандартизованных условиях. Рекламации, вызванные превышением основной погрешностью установленной для нее нормы, принимаются только в том случае, когда это превышение установлено в нормальных условиях.

*Дополнительная погрешность (complementary error)* - составляющая погрешности средства измерений, возникающая дополнительно к основной погрешности вследствие отклонения какой-либо из влияющих величин от нормального ее значения или ее выхода за пределы нормальной области значений.

Признак - характер зависимости от измеряемой величины:

- мультипликативная, пропорциональная значению измеряемой величины,
- аддитивная - не зависит от измеряемой величины.

Признак - характер проявления:

- систематическая,
- случайная.

Признак - режим измерения:

- погрешность измерений в статическом режиме,
- погрешность измерений в динамическом режиме.

Признак - способ представления:

- абсолютные,
- относительные,
- приведенные (fiducial errors).

Абсолютные и относительные погрешности могут служить характеристиками качества результатов измерений и средств измерений. Приведенные погрешности являются характеристикой только инструментальной погрешности средств измерений.

Приведенные погрешности вычисляются, как отношение абсолютной инструментальной погрешности средства измерений к нормирующему значению измеряемой величины (fiducial value of a measurand) и выражаются, как правило, в процентах:

$$\gamma_{СИ} = \frac{\Delta_{инст}}{x_{нрм}} \cdot 100\%.$$

В зависимости от особенностей средства измерений и характера зависимости абсолютной погрешности от измеряемой величины в качестве нормирующего значения  $x_{нрм}$  могут использоваться следующие значения:

-  $x_{нрм} = |x|_{max}$  - максимальное абсолютное значение измеряемой величины из диапазона измерения, выбирается, когда основной вклад в инструментальную погрешность вносит аддитивная составляющая,

-  $x_{нрм} = |x|$  - модуль текущего значения измеряемой величины или результат измерения, выбирается, когда основной вклад в инструментальную погрешность вносит мультипликативная составляющая,

-  $x_{нрм} = |x_{max} - x_{min}|$  - ширина диапазона измерения, выбирается, когда нуль шкалы находится внутри или вне диапазона измерения.

Только для аналоговых омметров, на шкале которых имеются отметки границ диапазона измерения: '0' и '∞', применяется особое выражение для приведенной погрешности, в котором абсолютная погрешность и нормирующее значение измеряемой величины выражаются в единицах длины шкалы:

$$\Delta l[\text{мм}] = k \cdot \Delta_{\text{инст}}, \quad L[\text{мм}] \text{ и}$$

$$\gamma_{\text{аном}} = \frac{\Delta l}{L} \cdot 100\%.$$

Приведенные погрешности применяются при назначении и установлении норм (пределов допускаемых значений) на инструментальные погрешности средств измерений, как правило, для нормальных условий эксплуатации. Установленный предел допускаемой основной приведенной погрешности, выраженный в процентах от нормирующего значения измеряемой величины, используется в качестве условного обозначения *класса точности* (class index, accuracy class) измерительных приборов и преобразователей.

В тех случаях, когда для средств измерений нормируется предел допускаемой *относительной* погрешности и для них указывается класс точности, то для обозначения класса точности используется число равное нормированному пределу относительной погрешности. Если этот предел представлен двучленной формулой с коэффициентами  $c$  и  $d$ , то для обозначения класса точности используется дробь  $c/d$ .

Приложение 2

**Наименование средства измерений.**



## **Методы и средства поверки**

(примерная форма, структура и содержание  
раздела технических условий или отдельного документа)

Настоящий (*наименование данного документа*) распространяется на (*наименование средства измерений и ссылка на технические условия или стандарт*) и устанавливает методику их первичной и периодической поверок.

### 1. Вводная часть

Уточняется объект поверки, степень соответствия Российским и международным документам, указывается вид поверки и длительность межповерочного интервала.

### 2. Средства поверки

При проведении поверки должны быть применены средства, указанные в таблице 1.

Таблица 1

№ п/п	Наименование образцового средства измерений или вспомогательного средства поверки	Номер документа (ТУ), метрологические и технические характеристики
1	2	3

Примечание. В настоящем примечании может быть дано указание о возможности применения средств поверки, не приведенных в перечне, но обеспечивающих определение (контроль) метрологических характеристик поверяемых средств измерений с требуемой точностью. Указывается, что все образцовые средства измерений должны иметь документы о предыдущей поверке, срок которых не истек.

### 2. Операции поверки

При проведении поверки должны быть выполнены операции, указанные в таблице 2.

Таблица 2

№ п/п	Наименование операции поверки	Номер пункта методики поверки	Обязательность проведения операции при		
			Выпуске из производства и хранения	Выпуске из ремонта	Эксплуатации и
1	2	3	4	5	6
1.					
2.					
3.					
4.					

Примечания:

1. В графах 4 - 6 обязательность проведения операций указывают словом "Да" или "Нет".
2. Если в графах 4 и 5 указывают одни и те же операции, эти графы объединяют в одну с наименованием " при первичной поверке".
3. Если при проведении первичной и периодической поверок проводят одни и те же операции, графы 4 - 5 исключают.

#### 4. Условия поверки

Раздел должен содержать перечень физических величин (влияющих величин), не являющихся измеряемыми, но влияющих на метрологические характеристики поверяемых средств измерений. Должны быть указаны значения этих величин и диапазоны их изменения, соответствующие нормальным условиям, установленным для поверяемого средства измерений в соответствии с ГОСТ 8.395 "Государственная система обеспечения единства измерений. Нормальные условия измерений при поверке. Общие требования".

Раздел должен начинаться следующим образом:

"При проведении поверки должны быть соблюдены следующие условия ....."

Указывается, что все средства измерений и вспомогательные средства перед проведением поверки должны быть прогреты в течение времени, указанного в эксплуатационных документах на эти средства.

#### 5. Подготовка к поверке

При небольшом объеме требований к подготовке и к условиям поверки допускается объединять разделы "Условия поверки" и "Подготовка к поверке" под общим названием "Условия поверки и подготовка к ней".

Раздел должен начинаться следующей фразой:

"Перед проведением поверки должны быть выполнены следующие подготовительные работы: ....."

#### 6. Требования к квалификации поверителей

Формулируются в тех случаях, когда сложность операций поверки и математической обработки результатов поверки требует специальной квалификации.

В этих случаях раздел начинается со слов "К проведению измерений при поверке и (или) обработке результатов измерений допускаются лица (указывается уровень квалификации).

#### 7. Требования безопасности

Излагаются требования, обеспечивающие при поверке безопасность труда, производственную санитарию, охрану окружающей среды.

#### 8. Проведение поверки

Проведение поверки заключается в последовательном исполнении следующих операций:

- внешний осмотр
- опробование
- определение (контроль) метрологических характеристик.

При внешнем осмотре проверяется комплектность, в том числе наличие технической документации на поверяемое средство измерений и отсутствие механических повреждений, влияющих на работоспособность и на метрологические характеристики.

При опробовании проверяется работоспособность поверяемого средства измерений. При этом образцовые средства измерений могут не использоваться.

Подраздел "Определение (контроль) метрологических характеристик" должен содержать описание каждой из операций, указанных в разделе "Операции поверки". Это описание должно быть разбито на пункты, в каждом из которых приводится отдельно каждая операция. Текст описания операций должен содержать наименование и описание метода поверки, схемы соединений, чертежи, формулы, графики, таблицы, рекомендации об округлениях результатов.

## 9. Обработка результатов измерений

Раздел включается при наличии сложных методов обработки.

Каждое требование раздела должно быть выделено в отдельный пункт со ссылкой на соответствующий пункт подраздела 7.

## 10. Оформление результатов измерений

Положительные результаты поверки оформляются свидетельством о поверке и (или) клеймением поверяемых средств измерений и записью о сроке следующей поверки.

При отрицательном результате в последнем пункте раздела заносится указание о запрещении применения средства измерений или о проведении повторной поверки после его ремонта и регулировки.

В протоколе поверки указывается дата поверки, место ее проведения, перечень средств, использованных для поверки, результаты каждой операции, значения метрологических характеристик, полученных в ходе поверки, и результаты их сопоставления с установленными нормами. Протокол подписывает поверитель, выполнивший поверку.

Настоящий документ может иметь приложения: обязательные и справочные.

## Приложение 3

### **Требования к содержанию стандартов на процессы и на продукцию.**

1\*. На продукцию, услуги разрабатывают:

- стандарты общих технических условий, которые должны содержать общие требования к группам однородной продукции,

- стандарты технических условий, которые должны содержать требования к конкретной продукции, услуге.

Любой стандарт на продукцию, услуги должен содержать разделы:

1 Классификация, основные параметры, условное обозначение продукции,

2 Общие технические требования, в составе подразделов:

2.1 Характеристики, свойства

2.1.1 требования назначения,

2.1.2 метрологические характеристики (для средств измерений),

2.1.3 требования надежности,

2.1.4 требования радиоэлектронной защиты,

2.1.5 требования к стойкости к воздействиям и живучести,

2.1.6 требования эргономики,

2.1.7 требования технологичности,

2.1.8 конструктивные требования.

2.2 Требования к сырью, материалам, покупным изделиям

2.2.1 применение или ограничение применения сырья, материалов,

2.2.2 применение вторичного сырья и отходов производства.

2.3 Комплектность,

2.4 Маркировка

2.5 Упаковка.

3 Требования безопасности

3.1 требования электробезопасности,

3.2 требования пожарной безопасности,

3.3 требования взрывобезопасности,

3.4 требования радиационной безопасности,

3.5 требования химической безопасности,

3.6 Требования к защитным средствам и мероприятиям.

4 Требования охраны окружающей среды.

5 Правила приемки.

6 Методы контроля.

7 Транспортирование и хранение.

8 Указания по эксплуатации.

## 9 Гарантии изготовителя.

2\*. Стандарты на методы контроля (испытаний, измерений, анализа) должны обеспечивать объективную проверку всех обязательных требований к контролируемому объекту.

Для каждого метода в зависимости от специфики его проведения устанавливают:

- средства контроля и вспомогательные устройства,
- порядок подготовки к проведению контроля,
- порядок проведения контроля,
- правила обработки результатов контроля,
- допустимую погрешность измерений при контроле.

При указании средств контроля приводят перечень применяемого оборудования или метрологические характеристики, необходимые для обеспечения контроля с заданной точностью, а также перечень материалов и реактивов.

При применении оборудования или реактивов, изготавливаемых специально для данного испытания, производство которых отсутствует, в тексте документа или в приложении дают описание, схемы, рецептуру и т.п.

При изложении порядка подготовки к проведению контроля описывают соответствующую процедуру. При подготовке к химическому контролю указывают место и способ отбора образцов (проб), форму, вид, размеры или массу, а при необходимости, условия их хранения и (или) транспортирования.

При необходимости следует приводить структурную и функциональную схему измерительной установки, а также схемы соединения приборов или аппаратов.

При изложении требований к методике проведения контроля приводят характеристики условий контроля с допустимыми пределами их значений и погрешности воспроизведения, а также последовательность проводимых операций. Если эта последовательность влияет на результат.

При изложении правил обработки результатов контроля приводят расчетные формулы и описание программ (если расчеты выполняются на компьютере). В приложении приводится текст исходный текст программы с указанием мер, предпринятых для ее защиты от несанкционированного редактирования.

При изложении требований к оформлению результатов контроля устанавливают требования к протоколам контроля, форму таблиц, к содержанию и последовательности включаемых в них данных.

При изложении требований к точности измерений при контроле указывают допустимую погрешность измерений, точность вычислений и степень округления данных, а также приводят сведения о воспроизводимости и повторяемости результатов, обеспечиваемых данным методом контроля.

**3\***. В соответствии с ГОСТ Р 1.5 стандарты на процессы должны содержать в себе требования к методам и приемам выполнения процессов, к условиям их выполнения, требования к обеспечению безопасности персонала, объекта и населения, а также требования охраны окружающей среды в части воздействия на нее стандартизуемых процессов.

**4\***. Общие правила работы со стандартами.

При ссылке на стандарт не указывается год его выпуска.

Не допускается цитировать стандарты в законодательных и иных нормативных документах, в том числе, в стандартах.

Эти правила обоснованы тем, что при их соблюдении в случае пересмотра цитируемого или ссылочного стандарта не потребуется пересматривать документ, в котором сделана ссылка на него.