

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный университет геосистем и технологий»
(СГУГиТ)

Г. В. Шувалов, Г. В. Симонова

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

Утверждено редакционно-издательским советом университета
в качестве учебного пособия для обучающихся
по направлению подготовки
27.03.01 Стандартизация и метрология (уровень бакалавриата)

Новосибирск
СГУГиТ
2025

УДК 006
Ш952

Рецензенты: старший научный сотрудник Западно-Сибирского филиала ФГУП «ВНИИФТРИ», кандидат технических наук *Тиссен В. М.*;
кандидат технических наук, доцент, СГУГиТ *Усанькова Е. А.*

Шувалов, Г. В.

Ш952 Методы и средства измерений и контроля : учебное пособие / Г. В. Шувалов, Г. В. Симонова. – Новосибирск : СГУГиТ, 2025. – 36 с. – Текст : непосредственный.

ISBN 978-5-907998-47-6

Учебное пособие подготовлено кандидатами технических наук, Г. В. Шуваловым, Г. В. Симоновой на кафедре специальных устройств, инноватики и метрологии СГУГиТ.

Рассматриваются теоретические положения и практические рекомендации для выбора средств и методов измерений при организации измерительного эксперимента по дисциплине «Методы и средства измерений и контроля». Приводятся контрольные вопросы для проверки качества освоения материала обучающимися.

Учебное пособие по дисциплине «Методы и средства измерений и контроля» предназначено для обучающихся по направлению подготовки 27.03.01 Стандартизация и метрология (уровень бакалавриата). Рекомендовано к изданию кафедрой специальных устройств, инноватики и метрологии, Ученым советом Института оптики и технологий информационной безопасности СГУГиТ.

Печатается по решению редакционно-издательского совета СГУГиТ

УДК 006

ISBN 978-5-907998-47-6

© СГУГиТ, 2025

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	4
1. Качество измерений.....	5
1.1. Измерительное преобразование	5
1.2. Показатели качества измерений.....	6
1.3. Вопросы для самоподготовки	11
2. Выбор средств измерений	12
2.1. Принципы выбора средств измерений	12
2.2. Классы точности средств измерений.....	20
2.3. Вопросы для самоподготовки	26
3. Средства допускового контроля	27
3.1. Принципы классификации средств допускового контроля	27
3.2. Вопросы для самоподготовки	30
Заключение	31
Библиографический список.....	32
Приложение 1	34
Приложение 2	35

ВВЕДЕНИЕ

В учебном пособии рассмотрены основные правила и термины, используемые для описания качества процесса измерений, а также принципов и методов выбора средств его реализации. Приводятся и обосновываются правила и соотношения, позволяющие количественно связать измеряемые параметры, принципы оценки их достоверности и применение технических устройств при выполнении измерений. Освоение предложенного материала позволит обучающимся понимать сущность физического процесса при проведении измерений, с целью выбора оптимальной методики измерений, номенклатуры измеряемых параметров и соответствующих средств измерений. В структуру пособия входят не только рассмотрение основных закономерностей связи параметров физических процессов и явлений, но и прикладные аспекты использования выявленных соотношений. Приводятся вопросы для самоподготовки по каждому разделу

Информация, изложенная в данном пособии, способствует формированию у обучающихся компетенций, позволяющих эффективно использовать для профессиональной деятельности теоретические положения и практические навыки описания методов и средств измерений в области организации метрологического обеспечения процесса измерений

1. КАЧЕСТВО ИЗМЕРЕНИЙ

1.1. Измерительное преобразование

Количественная характеристика какого-либо объекта или его свойств, выраженная в установленных единицах, не является объективной характеристикой объекта, а представляет собой некоторый договорной способ сравнения величин, принятых за единицу, физических величин, выбранных для характеристики объекта или процесса. Следует отметить, что не все свойства объекта поддаются количественной оценке, например, вкус или запах.

Таким образом, для реализации предложенного способа описания существующей объективной реальности необходим способ отождествления реальности с понятием количества единиц. Для однозначности полученной количественной оценки и сопоставимости результатов, их сравнения независимо от условий получения, необходимы единые общие методы преобразования конкретного свойства в его количественную оценку. Базовым понятием в проведении любых измерений является *измерительное преобразование*, посредством которого происходит отражение размера одной физической величины, через установленный (договорной) размер этой величины, принятый за единицу. Именно эти установленные значения исходных единиц отображаются принятой в данном государстве системой единиц. Процесс сравнения данной величины с другой, объективно функционально с ней связанной, позволяет осуществить измерительное преобразование, т. е. с учетом объективных связей свойств получить их количественное значение [1]. Измерительное преобразование позволяет получить некоторый количественные результат, описываемый соотношением, которое называется *основным уравнением измерения*:

$$\Sigma_i = \mu_i [\mu], \quad (1)$$

где Σ_i – полученный результат;

μ_i – количество единиц измеряемой величины;

[μ] – единицы измерений.

Полученное значение измеряемой величины в установленных единицах является приблизительной реализацией истинного значения физической величины. Для определения разницы между полученным результатом и его физической реальностью необходимы методы, которые позволят выявить эту разницу, а также определить некоторые критерии оценки этой разницы.

Измерительное преобразование выполняется с помощью технических устройств, которые хранят договорную единицу данной величины и реализуют процесс сравнения с помощью установленных методов и методик с учетом физической реальности преобразования [2].

Множество разнообразных технических устройств, использующие разные физические принципы для получения измерительного преобразования, получило название *измерительная техника*.

Измерительное преобразование позволяет описать измеряемую величину через некоторое количество ее единиц, т. е. получить результат измерений. Достоверность полученного результата и возможность его дальнейшего использования требует некоторой оценки. Следовательно, нужны некоторые понятия и методы получения этой оценки, которые также могут использоваться для сравнения результатов, полученных в разных условиях или на разном оборудовании.

1.2. Показатели качества измерений

Понятие *качество* какого-либо объекта предполагает оценку его свойств как потребителем, так и производителем. Совокупность этих оценок, которое может реализовываться как качественными, так и количественными оценочными характеристиками и составляет определение качества.

В настоящее время через категории свойств объекта в форме их совокупности оцениваются как технологические, так и потребительские свойства оцениваемого объекта.

Степень соответствия полученных свойств ожидаемым результатам определяется через сформированный набор некоторых оценочных состав-

ляющих качества объекта (изделия или процесса). Такие оценочные категории получили название *показатели качества*.

Количественных характеристик выбранных параметров могут носить как абсолютный, так и относительный или условный характер. Показатели качества продукции могут устанавливаться любым объективным способом применительно к конкретной продукции или конкретным условиям. В зависимости от количества характеризуемых свойств данные индикаторы могут быть как единичными, так и комплексными.

Сравнение выбранных показателей по заданной методике позволяет получить результат, который называется *уровень качества*. Обязательный набор показателей, включающей как технические, так и экономические показатели для конкретного продукта в их относительной форме позволяют охарактеризовать уровень качества продукции.

Применительно к оценке качества измерений разработан и используется ряд показателей, которые в основном относятся к точности полученного или планируемого результата измерений, а также к условиям его получения.

Требования к характеристикам точности измерений формируются через значения показателей точности на основании требований соответствующей документации или экспериментальным путем, если указанная информация отсутствует. На основании установленных требований определяются способы оценки результата, а также методы и средства, участвующие в измерениях.

Таким образом *качество измерений* определяется по совокупности выбранных для этого параметров. В качестве таких оценочных категорий для процесса измерений используются понятия: точность, достоверность, правильность, сходимость, воспроизводимость и погрешность.

Понятие *точность* – применительно к качеству измерений показывает, как близко значение величины, полученное в результате измерений, находится к истинному значению измеряемой величины. Это понятие может использоваться как оценочная категория и для других видов деятельности, но при оценке качества измерений определяется количественно как модуль обратной величины относительной погрешности, выраженной в долях. Например, если погрешность измерений равна 0,01, то точность будет равна $1/0,01 = 100$.

Результат измерений является реализацией при измерениях случайной величины, с учетом истинного значения и возможной погрешности оценки. Поэтому при получении результата измерений собственно числового значения недостаточно, так как нужно оценить достоверность полученного результата. Без этой оценочной информации результаты измерений невозможно сравнить с полученными другим способом или с установленными требованиями, приведенными в нормативной документации.

Точность является основным понятием для описания качества измерений и результатов измерений. Требования к точности измерений приводят путем задания показателей точности и ссылки на документы, в которых эти значения установлены.

Поскольку результат измерений не является истинным значением измеряемой величины, необходимо оценить, насколько эти значения отличаются. Таким образом, понятие *достоверность* показывает степень доверия к результатам измерений. Достоверность полученных результатов количественно определяется через погрешность с помощью математических соотношений на основе законов теории вероятностей и математической статистики.

Значение погрешности результатов измерений в любом случае формируется в процессе его получения, поэтому необходимая достоверность требует выбора средств измерений и условий, в которых проводится измерительный эксперимент.

Формы оценки погрешности могут быть как в абсолютном, так и относительном выражении, поэтому и носить как случайный, так и систематический характер. При оценке влияния систематических погрешностей принято использовать понятие *правильность*, которое показывает близость к нулю систематических погрешностей в результатах измерений.

При многократных измерениях одной и той же величины в одинаковых условиях может возникнуть разница значений, обусловленная в основном наличием случайной составляющей погрешности. Для характеристики этой разницы принято понятие *сходимость*.

Измерения одной и той же величины могут производиться и в разных условиях. В идеальном случае результаты должны совпадать, если исходная величина сохраняет свои значения, но изменение условий измерений вносит

разные значения отклонений в конечный результат, для оценки этих отклонений принят показатель качества, который называется *воспроизводимость*.

Оценка конечного результата отклонения результата измерений от реального значения величины может носить как абсолютный, так и относительный характер. Такая характеристика получила название погрешность, значение которой определяется совместным воздействием ряда причин, поэтому в ряде случаев эти составляющие требуют дополнительной оценки [3–8].

Если определяется в абсолютной форме разница между результатом измерения X и истинным значения X_u (или действительного X), то результат может менять знак, имеет размерности и называется абсолютной погрешностью Δ , которая определяется соотношением:

$$\Delta = X - X_u. \quad (2)$$

Для оценки значимости полученного отклонения Δ для достоверности результата измерений вводится понятие относительной погрешности измерения δ , которое определяется формулой:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_u}. \quad (3)$$

При проведении расчетов абсолютной и относительной погрешностей, в силу отсутствия истинного значения физической величины X используется ее действительное значение X , являющееся отображением истинного значения в виде результата измерений.

При решении множества практических задач требуется количественная оценка свойств объекта, хотя далеко не всегда эта оценка относится к его физическим характеристикам. В табл. 1 приведены соотношения понятий применения результатов измерений при оценке качества для разных задач измерительного процесса [8].

Таблица 1

Соотношение понятий *измерения, испытания, контроль*

Термин	Цель	Показатель точности	Показатель качества
Измерение	Определение количественного значения заданной величины	Погрешность результата измерений	Степень близости результата измерений к действительному значению
Испытание	Определение значения величины при заданных воздействующих факторах и режимах	Погрешность результатов испытаний с учетом погрешности воздействия и режимов	Степень близости результата измерений к действительному значению при заданных воздействиях
Контроль	Определение величины параметра при заданных условиях с заданным допуском	Оценка вероятности риска потребителя и производителя	Степень достоверности нахождения значения величины в допустимых пределах

Разные причины могут оказывать влияние на погрешность в разной степени, поэтому важно выявить те источники погрешности, которые вносят максимальные искажения в результат измерений.

Показатели точности измерений должны соответствовать исходным данным на разработку методики измерений в соответствие [6, 8].

Таким образом при разработке и выборе как методов измерений, так и средств измерений необходимо учитывать особенности описания предметов и веществ, также требования к показателям качества измерений.

Следует отметить, что в настоящее время понятие *измерение* расширило область своего применения и используется в таких нетрадиционных областях, как медицина, экономика, социальные параметры, информатика и пр.

Показатели точности измерений должны соответствовать исходным данным на разработку методики измерений [6].

Перечень основных показателей точности, применяемых при оценке качества измерений, приведен в прил. 1.

1.3. Вопросы для самоподготовки

- 1 Общие понятия об измерениях.
- 2 Схема процесса измерения.
- 3 Основное уравнение измерения.
4. Какие существуют показатели точности измерений?
5. Поясните понятие *качество измерений*.
6. Поясните элементы структуры процесса измерений.
7. Какие существуют основные источники погрешности?

2. ВЫБОР СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

2.1. Принципы выбора средств измерений

Многообразие измерительных задач и средств измерений (СИ) для их решения, имеющих разное конструктивное оформление, работа которых основана на разных физических принципах, требует применения некоторых правил обоснования выбора СИ, основные критерии наиболее оптимального их использования.

Проведение измерений требует технического устройства для реализации этого процесса, т. е. средства измерений. Поэтому правильный выбор средств измерений позволит получить запланированный результат с максимальными показателями качества операций контроля и готовой продукции. Для правильного выбора средств измерений необходимо знать некоторые правила и признаки, позволяющие оптимизировать этот процесс.

Трудоемкость выполняемых измерений и их стоимость также могут быть учтены при оценке эффективности измерительной деятельности.

Основной принцип выбора средств измерений основан на требовании превышения точности применяемого СИ точности требований к результату измерений заданной величины. Следовательно, *погрешность СИ, которая нормируется при поверке*, не может превышать предела допустимой погрешности измерения.

Следствием из указанного правила является обязательная возможность подтверждения метрологических характеристик выбранного СИ, т. е. необходимо иметь документы о возможности поверки. Исключения могут относиться к оборудованию, подлежащему калибровке.

При анализе представляемого оборудования определяющую роль играет точность воспроизводимого СИ результата измерений (погрешность и/или неопределенность). Класс точности оборудования или разряд устанавливается в описании СИ, которое тоже находится в государственном реестре средств измерений.

При выборе СИ необходимо учитывать соответствие диапазонов шкалы средства измерений и требуемых диапазонов изменения измеряемой величины. Если получение результата измерений связано со шкалой СИ, то «цена деления» шкалы должна обеспечить возможность получения требуемой точности результата измерений.

Согласно ФЗ № 102 (Статья 9) [9], все СИ участвующие в государственной системе обеспечения единства измерений, подлежат обязательной поверке, включая все входящие в состав СИ отдельные измерительные каналы и (или) отдельные автономные блоки, необходимые для проведения измерений, что нужно обязательно указывать в заявке на проведение поверки. Например, при аттестации оборудования нельзя применять аттестацию по двум точкам измерений, если в методике поверки указан набор точек шкалы, и результат измерений при поверке определяется именно с погрешностью, которая указана в соответствующем нормативном документе.

Например, по методике измерения для пробоподготовки образца нужен шкаф сушильный с диапазоном температур от $+50\ldots+200$ °C, но саму пробоподготовку следует проводить при трех температурах (100; 110; 130 °C с погрешностью $\pm 5,0$ °C), именно по этим температурам и будет проходить аттестация СИ.

При выборе оборудования следует обратить внимание на возможность восстановления его технических и метрологических характеристик в случае потери работоспособности (параметрического или функционального отказа).

На основании вышеизложенного можно сформировать некоторые рекомендации для оптимального выбора средств измерений:

- значения характеристик погрешности для данного СИ;
- оценка соотношения диапазона шкалы СИ и диапазона изменения измеряемой величины;
- условия эксплуатации СИ и соответствующие группы их исполнения.

Для выбора СИ следует использовать некоторые исходные данные, которые определяются задачами процесса измерений и измеряемой величиной. Чаще всего для такой информации следует определить:

- диапазон изменения измеряемой величины и ее номинальное значение в соответствии с установленными требованиями;

- условия выполнения измерений.

Если для проведения измерений предполагается использовать некоторую установку, в которую входит несколько блоков, то следует учесть суммарное значение погрешностей, определяемое всем ходом проведения измерений.

При отсутствии информации о требуемых характеристиках СИ можно воспользоваться правилом примерной оценки: погрешность измерения (с учетом влияющих факторов) не должна превышать 35 % от допуска на контролируемый параметр.

Для сравнительной оценки возможных для применения СИ можно воспользоваться информацией, заключенной в соответствующих ГОСТ или технических условиях на средства измерений.

Нормальными условиями для реализации процесса измерений принято считать такие условия, при которых изменением результата измерений можно пренебречь вследствие малости. Как правило, эти условия отображаются в информации о конкретном СИ.

Для обоснования выбора средств измерений можно выделить некоторый набор наиболее значимых критериев при выборе СИ.

Диапазон возможных значений погрешности с учетом сопоставления их с допустимыми значениями:

- оценочным критерием в данном случае может быть среднее квадратичное отклонение погрешности измерений;
- для устранения возможных рисков следует установить границы доверительного интервала, в которых определенная погрешность измерений находится с заданной вероятностью.

Для получения функции преобразования для данного устройства входной величины в выходную по известным входным значениям формируется *градуировочная характеристика средства измерений* (уравнение преобразования). Уравнение преобразования входной величины X в выходную величину Y может быть представлено в виде формулы, таблицы или графика. Для удобства эксплуатации эта характеристика должна быть линейной, но такой характер на практике часто не наблюдается.

Часто для средств измерений нормируется некоторая усредненная характеристика преобразования, которая отображается в сопроводительной доку-

ментации, но на практике реальная функция преобразования может варьироваться. Условия отклонения реальной функции преобразования от номинальной приведены на рис. 1.

Для средств измерений нормируется номинальная статическая градуировочная характеристика. Она приписывается средству измерений на основе анализа совокупности таких средств. Реальная градуировочная характеристика конкретного образца средства измерений может несколько отличаться от номинальной.

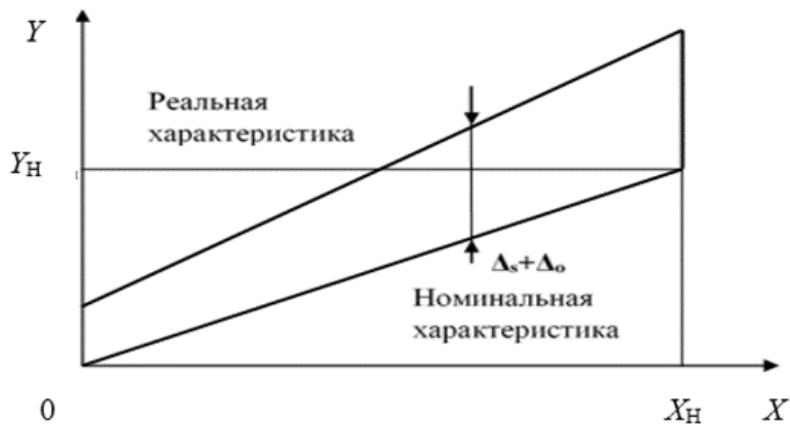


Рис 1. Реальная и номинальная функции преобразования

Комплекс нормируемых метрологических характеристик (НМХ) средств измерений конкретного типа устанавливают на основании принятой для средств измерений данного типа модели его погрешности в реальных условиях применения.

При проведении измерений могут использоваться совместно несколько различных технических устройств, поэтому следует рассмотреть условия их сопряжения.

Поскольку результат измерений не является конкретным значением измеряемой величины, а показывает ее примерную вероятностную реализацию, то для нахождения ее действительного значения необходимо установить количество измерений, достаточное для использования аппарата и законов математической статистики.

На основании вышеизложенного для окончательного выбора СИ можно сформулировать несколько основных условий.

Характеристики погрешностей СИ должны удовлетворять заданным пределам допускаемых значений результатов измерений в заданных условиях, т. е. выбранное СИ можно использовать, если значения характеристик погрешности измерений находятся в интервале примерно от 20 до 60 % соответствующих пределов их допустимых значений.

Выполнение измерений предполагает количественное преобразование данной величины (сигнал входа), в некоторую другую по известному закону (сигнал выхода). Однако такое преобразование возможно, если значение входной величины достаточно для выполнения измерительного преобразования. Параметр, который отображает меру реакции СИ y на изменение входной величины x , получил название *чувствительность измерительного прибора* (s) и определяется в соответствии с соотношением

$$s = \lim \frac{\Delta y}{\Delta x} = \frac{dy}{dx}. \quad (4)$$

В соответствии с соотношением (4), *абсолютная чувствительность* имеет размерность, определяемую через значения единиц x и y . Чувствительность СИ может иметь как постоянное значение, так и изменяться для разных значений x . Мера реакции прибора может оцениваться и относительным способом в соответствии с соотношением

$$s_{\text{отн}} = \frac{\Delta y}{\Delta x / x}. \quad (5)$$

Относительная чувствительность $s_{\text{отн}}$ имеет размерность выходной величины, отличающейся на 1 % изменения входной величины.

СИ могут работать в разных условиях, поэтому важно оценить изменение выходного сигнала при непрерывном изменении входной величины. Такие условия работы СИ получили название *динамический режим*, а характеристики СИ – *динамические*.

Динамические характеристики средства измерений описывают инерционные свойства средств измерений и определяют зависимость выходного сиг-

нала средств измерений от меняющихся во времени величин [6]. Динамические характеристики данного технического устройства зависят от конструктивных особенностей прибора и характера переходных процессов в системе. Вследствие этих процессов результат измерения формируется со смещением во времени относительно изменения входного сигнала, поэтому при проведении измерений следует учитывать этот промежуток времени. Величина, обратная времени измерения до установления показаний, получила название *быстродействие* средства измерения

Чем выше быстродействие, тем чувствительнее СИ к изменению входного сигнала.

Условия проведения измерений могут существенно влиять как на технические характеристики СИ, так и на погрешность результата измерений, поэтому следует учитывать возможные воздействия, определяемые условиями внешней среды.

Величины, которые влияют на метрологические характеристики, помимо измеряемой величины, называют *влияющими величинами*.

При проведении измерений на значение параметра на выходе измерительного устройства одновременно с исходным измерительным сигналом могут отображаться составляющие, которые не имеют связи с измеряемой величиной, а определяются сопутствующими факторами процесса измерений. Эти дополнительные составляющие искажают соответствие между значением измеряемой величины и полученным результатом. К таким составляющим, обусловленным влияющими величинами, можно отнести состояние окружающей среды, особенности внутреннего состояния измерительного устройства, а также влияние оператора на измерительный процесс

Для обеспечения оптимальной работы средств измерений в сопровождающей технической или нормативной документации указывают возможные влияющие величины и допустимый диапазон их реализации при проведении измерений. Например, как правило, указываются допустимые диапазоны давления, температуры или влажности и др. Значения этих диапазонов могут существенно изменяться в зависимости от типа оборудования и его функционального назначения. Понятие нормальных условий работы указывает на ситуацию, когда воздействие влияющих величин для данного процесса измерений сведено к минимуму.

Как правило, нормирование метрологических, технических, динамических характеристик СИ проводится именно для этих условий их эксплуатации. Погрешность в таких условиях для данного СИ получала название *основная погрешность*.

Очень часто допустимо использовать средства измерений, параметры которых отличаются от нормальных в условиях эксплуатации. В этом случае значение погрешности СИ также изменяется. Для характеристики этого значения погрешности применяется термин *дополнительная погрешность*. Эти характеристики могут указываться в сопроводительной документации в количественных значениях или в форме некоторой функциональной зависимости как от основной погрешности, так и изменений условий функционирования. Для каждого действующего фактора существуют собственные значения функций влияния, допускается вместо функциональной зависимости указывать наибольшие допустимые изменения метрологических характеристик СИ в пределах рабочих условий [10].

Для оптимального выбора СИ следует учитывать не только их метрологические, но и иные эксплуатационные характеристики. Например, экономические показатели, срок службы, показатели надежности, устойчивость к климатическим и механическим воздействиям, требования к источникам питания, время установления рабочего режима и др.

К показателям *надежности средств измерений* относят время наработки на отказ, вероятность безотказной работы, интенсивность отказов. Указанные параметры предназначены для оценки способности СИ сохранять свои установленные в технической документации параметрические и функциональные свойства в течение определенного промежутка времени.

Одной из важных количественных характеристик надежности средства измерений является вероятность безотказной работы.

Требования к характеристикам надежности обосновываются и указываются в нормативной документации. Оценка характеристик надежности формируется в процессе разработки средства измерений [11].

Экономичность средств измерений оценивается не только по их стоимости, но и удобству эксплуатации, конструктивному решению и значениям других показателей.

Для удобства процесса сравнения и выбора СИ в настоящее время разработан и применяется МИ 2314–2006 [12] «Кодификатор групп средств измерений». В этом документе приведена номенклатура групп средств измерений, в соответствии с автоматизированной версией Указателя комплектов средств поверки (кодификатор, АИС «Указатель КСП»). Рекомендации разработаны Всероссийским научно-исследовательским институтом метрологической службы Росстандарта (ВНИИМС).

В Кодификаторе указываются принятые условия для разделения СИ на определенные группы по установленным признакам. Кодификатор позволяет оперативно получить информацию об имеющейся номенклатуре СИ, об области аккредитации на право поверки различных метрологических служб, а также справочную информацию по размещению специализированных поверочных лабораторий.

Отображение общих свойств группы СИ позволяет пояснить общие признаки для различных СИ, что упрощает их сравнение, а также сокращает их описание во всех сопутствующих документах.

При поверке средств измерений и условиях ее проведения необходим определенный набор как эталонных, так и вспомогательных средств, поэтому вводится понятие *комплект средств поверки* (КСП), что соответствует минимальной совокупности технических устройств для поверки данного типа СИ.

Разнообразие СИ делится на некоторые общие свойства и формирует совокупность типов СИ, т. е. некоторую *группу средств измерений*, для поверки или калибровки которых может использоваться одинаковый комплект поверки и, как правило, одна поверочная схема.

Для объединения СИ по виду измеряемых физических величин, относящихся к одной области физики, принято понятие *вид измерений*.

Дополнительная классификация СИ осуществляется по вспомогательным направлениям классификации, признакам принадлежности к ветви поверочной схемы, конструктивным особенностям СИ или диапазонам измерений. Указанная дополнительная классификация получила название *ветвь области измерений*.

При определении границ групп использован признак принадлежности СИ одному полю поверочной схемы. В соответствии с этим признаком СИ,

эталоны и рабочие СИ относят к разным группам даже при условии их поверки с применением одного и того же КСП. На рис. 2 приведена структура кодов разных групп СИ.

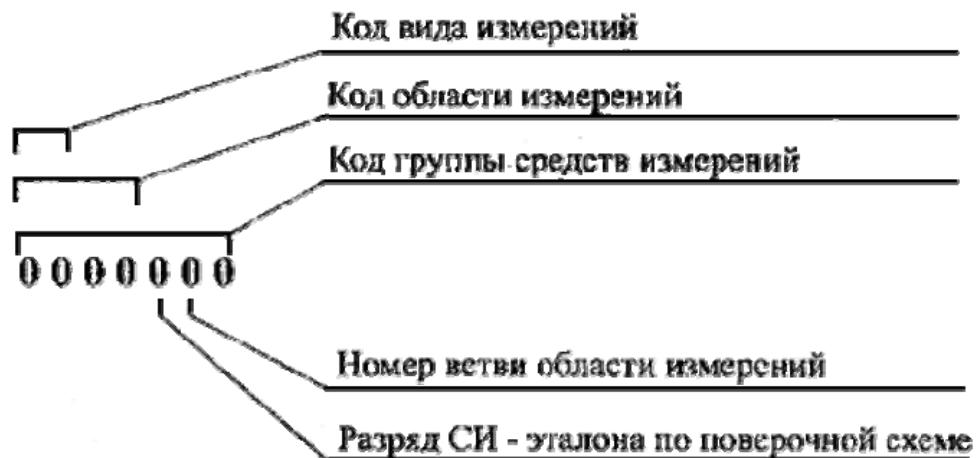


Рис. 2. Структура кодов средств измерений

В состав кода группы СИ входит семь цифровых разрядов. Обозначение кода формируется последовательно по группе СИ в соответствии с приведенной на рис. 1 схемой.

Код вида измерений образуется заполнением 1-го и 2-го разрядов шифра. Для обозначения кода области измерений к первым двум разрядам добавляется еще два, т. е. 3-я и 4-я позиции.

В пятом разряде кода цифры указывают разряд СИ-эталонов, образующих группу (от 0 до 4 для рабочих эталонов, установок высшей точности, эталонов-копий). Цифрами от 5 до 9 в 5-ом разряде кода обозначают группы рабочих СИ, 6-й разряд обозначает номер ветви СИ, а добавление 7-го разряда полностью определяет код группы СИ.

2.2. Классы точности средств измерений

В каждом методе измерений с использованием конкретных СИ погрешность результата связана с особенностью процесса его получения.

Выбор метода измерений определяется назначением их результатов, требованиями к быстроте и точности измерений. Объединение различных мето-

дов (с учетом их достоинств и недостатков) в конструктивном устройстве средств измерений является одним из перспективных путей развития измерительной техники.

Поскольку при выборе СИ определяющее значение имеют его характеристики точности, то необходимы некоторые критерии, позволяющие оценивать не только конкретные значения всех видов погрешности, но и изменения этих характеристик при изменении значения измеряемых величин в пределах шкалы данного СИ.

Обширный арсенал различных технических устройств, объединенный понятием *измерительная техника*, обусловлен разнообразными прикладными задачами.

Устройства, которые называются СИ, обладают не только техническими, но и метрологическими характеристиками, что и обеспечивает особенность их эксплуатации.

Для определения возможности применения для данной задачи конкретного СИ принят оценочный комплект его метрологических характеристик. Метрологические характеристики, их наименования и способы определения установлены в документе [10].

Влияние метрологических характеристик на результат измерений требует оценки, т. е. их нормирования.

Эти характеристики формируются при разработке СИ и указываются в соответствующей нормативно-технической и эксплуатационной документации. К метрологическим характеристикам средств измерения относятся следующие

Измеряемая, преобразуемая или воспроизводимая (для мер) величина характеризует ту физическую величину, значение которой определяется в процессе ее сопоставления с единицей данным техническим устройством. Назначение средства измерений для измерения этой физической величины указывается в техническом описании СИ.

Любая физическая величина может меняться в большом диапазоне своих значений, но возможность определения ее значения определяется возможностью СИ. Следовательно, для выбора СИ следует установить доступный для него *диапазон измерений* D_p , т. е. область значений величины, в пределах ко-

торой определены допускаемые пределы погрешности средства измерений, и эти значения могут быть отображены на шкале СИ.

Диапазон измерений ограничивается некоторыми предельными значениями физической величины, отражающими наименьшее значение «нижнего предела измерений» и наибольшее значение величины «верхний предел измерений» D_v , которые могут быть измеренными данным средством измерений.

В рабочем диапазоне измерений интерес могут представлять не только значения измеряемой величины, но и погрешности этих измерений. Эти характеристики могут носить как постоянный, так и переменный характер, поэтому важно определить конкретный вид зависимости.

На рис. 3 показан пример изменения относительной погрешности в заданном диапазоне.

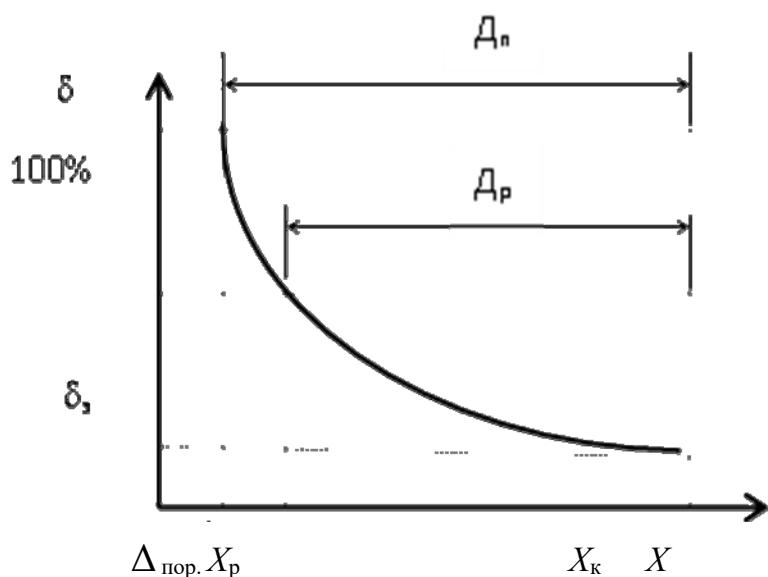


Рис. 3. Вид изменения относительной погрешности

Нижний предел измерения относительной погрешности стремится к нулю, но ограничивается порогом чувствительности СИ или погрешностями измерений.

Шкала измерений отождествляет принцип определения данного значения величины в ряде ее возможных реализаций. Применительно к этой части

отсчетного устройства, это ряд символов, соответствующих ряду последовательных значений измеряемой величины.

Форма реализации на отсчетном устройстве конкретных числовых значений может быть очень разная и указывается в описании СИ [13, 14].

Порог чувствительности СИ или отдельного элемента конструкции определяется как наименьшее изменение входного сигнала, которое способно вызвать появление сигнала на выходе СИ, соизмеримое с собственным сигналом шума. Для этого случая относительная погрешность измерения составит $\delta = 100 \%$.

В рабочем диапазоне относительная погрешность не превышает некоторого установленного δ_3 .

Для оценки возможности применения данного СИ необходимо знать характер изменения погрешности при изменении значения измеряемой величины. Для оценки этой характеристики принято различать два предельных случая:

- погрешность, сохраняющая свое значение во всем пределе изменения измеряемой величины, получила название *аддитивная погрешность*;
- погрешность, изменяющаяся определенным образом при изменении измеряемой величины, называется *мультипликативная погрешность*.

Пример отображения абсолютной погрешности приведен на рис. 4, где x – значение измеряемой величины, а y – значение соответствующей погрешности.

На графиках рис. 4, *a* видно, что значение абсолютной погрешности сохраняется для всех значений измеряемого параметра, это случай аддитивного характера погрешности. На рис. 4, *б* показан случай мультипликативного поведения погрешности.

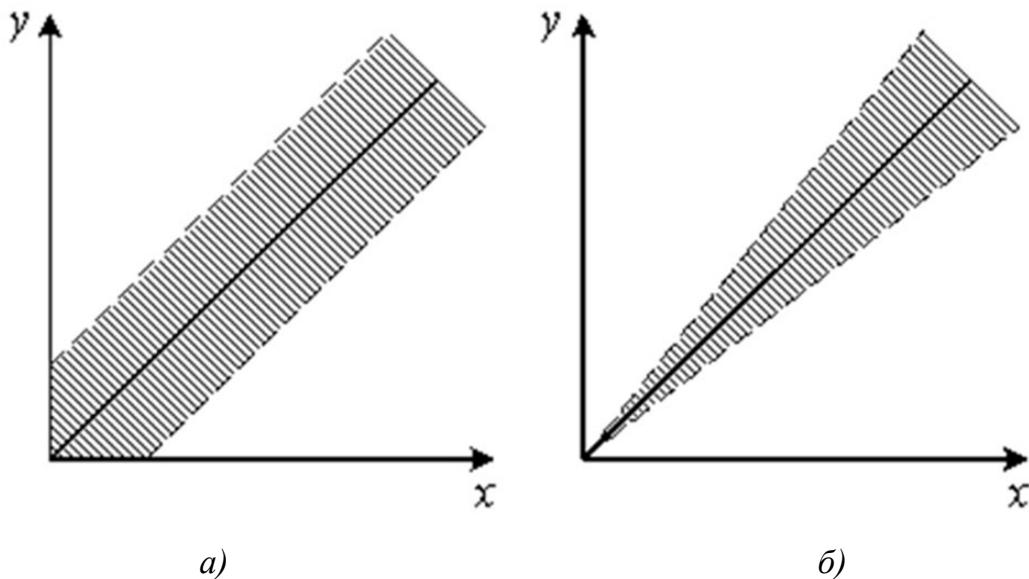


Рис. 4. Пример отображения абсолютной погрешности:

а) график для аддитивной погрешности; б) график мультипликативной погрешности

Кроме этого, при оценке погрешности результата измерений применяется понятие номинальной и реальной функции преобразования.

В общем случае оба вида погрешности присутствуют в результате измерений, но в большинстве случаев основную роль играет один из видов зависимости погрешности от значения измеряемой величины. Для оценки этого свойства средств измерений разработана система параметров, позволяющая описать характер поведения погрешности при изменении значения измеряемой величины, эти параметры получили название *классы точности*.

Классы точности СИ устанавливаются в соответствии с характером изменения погрешности и в соответствии с документами [15].

Пределы допускаемой абсолютной основной погрешности устанавливают в зависимости от характера ее изменения, где a – значение абсолютной погрешности, которое указывается в установленных единицах

$$\Delta = \pm a, \quad (6)$$

где абсолютное значение погрешности Δ определяется некоторым значением, соответствующим пределам допускаемой основной абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины или условно

в делениях шкалы. Если значение абсолютной погрешности имеет функциональную связь с измеряемой величиной, то ее значение определяется соотношением (см. рисунок 4, б)

$$\Delta = \pm(a + bx), \quad (7)$$

где x – значение измеряемой величины или число делений, отсчитанных по шкале;

a, b – числа, характеризующие данный процесс измерений, не зависящие от x .

В соответствии с установленными требованиями при аддитивном характере абсолютной погрешности, пределы допускаемой приведенной основной погрешности γ определяются по формуле

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_N} = \pm p. \quad (8)$$

Полученный по соотношению (8) результат определяет пределы допускаемой основной приведенной погрешности. Обозначение класса точности указывается в процентах;

В формуле (8)

x_N – предел шкалы СИ или иное договорное нормирующее значение, выраженное в тех же единицах, что и Δ ;

p – отвлеченное положительное число, выбираемое из ряда $k \cdot 10^n$.

Значения параметров k и n могут принимать только установленные нормативной документацией значения [15].

Значения, указанные в скобках, в обозначениях класса точности не применяются для вновь разрабатываемых средств измерений [15].

Для преобладающей мультипликативной погрешности в качестве класса точности нормируется относительная погрешность, обозначения погрешности выбираются из ряда установленных чисел и приводится в процент, заключенными в кружок.

Если обе составляющих погрешности соизмеримы, то определение класса точности указывается в виде дроби и относительная погрешность нормируется по определенной функции преобразования [15].

Общий вид обозначения классов точности и условия их применения приведены в прил. 2.

2.3. Вопросы для самоподготовки

1. Принципы и методы измерения.
2. Как формируются классы точности измерений?
3. Что такое основная погрешность?
4. Что такое дополнительная погрешность?
5. Аддитивная погрешность.
6. Что такое мультипликативная погрешность?
7. Как определяется диапазон измерений?
8. Поясните структуру кодов средств измерений.

3. СРЕДСТВА ДОПУСКОВОГО КОНТРОЛЯ

3.1. Принципы классификации средств допускового контроля

Средства допускового контроля (СДК), или иначе калибры, это не средства измерений (СИ). Эти технические устройства, которые предназначены для контроля формы или взаимного расположения различных объектов, а также для выявления соответствия размеров изделий установленным допускам. Калибры не поверяются, не калибруются, а проверяются на соответствие ГОСТам, чертежам, нормам с установленной по внутренним документам периодичностью [16]. Классификация калибров представлена на рис. 5.

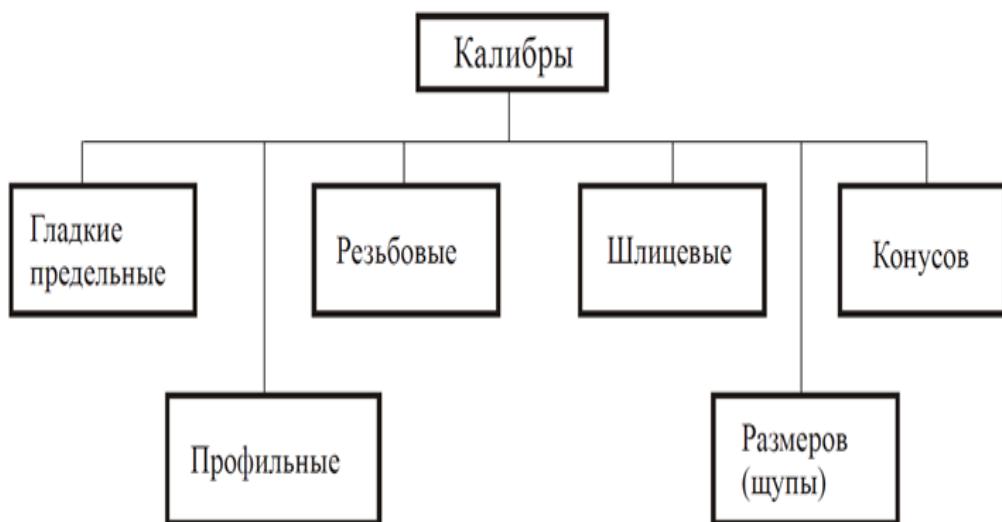


Рис. 5. Виды калибров

Калибр (от фр. *calibre*, *calibre à limites* – калибр) является контактным средством контроля, так как в процессе своего применения соприкасается с определенными участками поверхности исследуемой детали. Размеры калибров могут задаваться без всякой связи с единицей измерения.

По виду контролируемых изделий различают калибры для проверки гладких цилиндрических изделий (валов и отверстий), гладких конусов, цилиндрических наружных и внутренних резьб, конических резьб, линейных размеров, зубчатых соединений, расположения отверстий.

Разнообразные калибры широко используются для контроля изделий, к которым предъявляются высокие метрологические требования. Во многих случаях контрольный инструмент такого типа может рассматриваться в качестве одноэлементной шкалы.

Калибр в промышленности для контрольных операций позиционируется как *шаблонный инструмент*, т. е. некоторая конфигурация, которая отображает размер или требуемую форму изделия.

Инструменты подобного типа изготавливают по форме и размерам контролируемых изделий или комплектующих элементов, что позволяет оперативно проводить контрольные операции, однако сам принцип контроля влияет как на изделие, так и на калибр.

Каждый калибр предназначается для определенной детали, для сверки форм, фактических размеров, соответствия допускам, обозначенным в чертежах. Классификация калибров осуществляется в соответствии с контролируемыми деталями и задачами контрольных операций:

- контроль формы конусов;
- определение правильности расположения отверстий и расстояния между ними;
- контроль точности изготовления резьб;
- определение точности сопряженности зубчатых соединений.

Калибры очень широко применяются в машиностроении. Контроль цилиндрических и конических резьб производится в том числе с обязательным использованием резьбовых калибров (некоторые параметры необходимо контролировать дополнительно, используя универсальные средства измерений, например, шаг ходовой трапецеидальной резьбы). Использование гладких калибров ограничено контролем деталей с 6-го квалитета, так как для более точных квалитетов произвести калибры практически невозможно, а контроль такими калибрами являлся бы необъективным. Поэтому размеры 5-го и более точных квалитетов контролируют, используя точные приборы (оптиметры, измерительные головки и т. д.).

Согласно [17] квалитет (степень точности) – это совокупность допусков, рассматриваемых как соответствующие одному уровню точности для всех номинальных размеров. Предположим, изготавливаемое изделие состоит из разных по габаритам составных деталей. Для того что бы все изготавливаемое изделие в целом соответствовало конкретно заданной степени точности, задается единый квалитет для всех составных деталей изделия. Согласно заданному квалитету, для мелких деталей числовые значения допусков будут иметь меньшее цифровое значение, чем для деталей среднего и большого размера ([17], табл.1 «Числовые значения допусков» для одного выбранного квалитета в зависимости от размера изделия)

На рис. 6 приведены изображения различных калибров, которые часто применяются для контрольных операций.

Недостатки калибров обусловлены необходимостью соприкосновения конструктивных элементов, большой дозой визуального контроля при оценке результата. Неизвестны погрешности измерений, так как они зависят не только от самого инструмента, но и от измеряемых деталей, состояния их поверхности, температурных и механических деформаций.



Рис. 6. Калибры разные

На рис. 7 приведен пример разновидности регулируемого калибра, который называется скоба. Скобы называются регулируемыми из-за того, что предусмотрена возможность изменения их размеров с помощью вращения винтов на торцах и боковых плоскостях, после чего винты заливают мастикой, сургучом и ставят клеймо проверочного органа. Этот вид скоб не предназначается для контроля в высоком классе точности, но они хороши тем, что настраиваются под разные размеры.



Рис. 7. Скоба

Все калибры предполагают необходимость контакта с контролируемыми объектами, что может привести как к повреждению поверхности исследуемой детали, так и к искажению формы самого контактного инструмента, поэтому в процессе их использования требуется обязательное соблюдение инструкций по проведению контрольных операций.

3.2. Вопросы для самоподготовки

1. Чем отличаются СДК и СИ?
2. Как виды контроля обеспечивают СДК?
3. Поясните принципы классификации калибров.
4. Поясните особенности применения шаблонного инструмента.
5. Какие недостатки характерны для калибров?
6. Какие параметры деталей можно определять с помощью СДК?
7. Как определяется выбор типа шаблона?

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Структура данного пособия, помимо теоретических сведений, включает в себя и примеры используемых средств измерений, методов получения результата и практических расчетов. Многообразие измерительных задач охватывает множество как теоретических, так и практических направлений. В настоящем учебном пособии рассмотрены лишь некоторые вопросы описания средств и методов измерений, а также прикладных аспектов их эксплуатации и связанных с ними прикладных задач. Поэтому данное пособие не может являться заменой учебников по метрологическому обеспечению измерительных процессов. Получить более подробную информацию можно из литературных источников, приведенных в библиографическом списке или иной литературе, касающейся информации по рассмотренным вопросам.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ Р 8.000–2015. Государственная система обеспечения единства измерений. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2016. – 11 с.
2. ГОСТ Р 8.563–2009. ГСИ. Методики измерений. – М.: Стандартинформ, 2010. – 28 с.
3. РМГ 29–2013. ГСИ. Метрология. Основные термины и определения. – М. : Стандартинформ, 2013. – 60 с.
4. ПР 50.2.104–09. ГСИ. Порядок проведения испытаний стандартных образцов или средств измерений в целях утверждения типа. – М., 2010. – 10 с.
5. РМГ 29–99. Государственная система обеспечения единства измерений. Метрология. Основные требования и определения. – М., 2000. – 28 с.
6. Грибанов Д. Д. Общая теория измерений : монография. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2015. – 116 с.
7. Каплан Б. Ю. Физические основы получения информации : учеб. пособие. – М. : НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 286 с.
8. ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002. Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений – М., 2002. – 21 с.
9. Об обеспечении единства измерений: федер.закон. – Доступ из справ.прав. системы «Консультант плюс».
10. ГОСТ 8.009–86 ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М., 2013. – 27 с.
11. ГОСТ Р 8.820–2013 ГСИ. Метрологическое обеспечение. Основные положения. – М., 2013. – 11 с.
12. МИ 2222–92. Государственная система обеспечения единства измерений. Виды измерений. Классификация. – М., 1992. – 11 с.
13. МИ 2314–2006 ГСИ. Кодификатор групп средств измерений. – М., 2006, (утвержден ФГУП ВНИИМС, 18.05.2006). – 202 с.
14. МИ 1317–2004. Государственная система обеспечения единства измерений. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы

представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров. – М., 2004. – 21 с.

15. РМГ 62–2003 ГСИ. Оценивание погрешности измерений при ограниченной исходной информации. – М., 2003. – 18 с.

16. ГОСТ 8.401-80 ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования. – М., 2013. – 11 с.

17. ГОСТ 27284–87 Калибры. Термины и определения. – М., 2003. – 6 с.

18. ГОСТ 2534 –2013. Основные нормы взаимозаменяемости. Характеристики изделий геометрические. Система допусков на линейные размеры. Основные положения, допуски, отклонения и посадки. – М., 2021. – 25 с.

19. ГОСТ Р 8.820-2013 ГСИ. Метрологическое обеспечение основные положения. – М., 2013. – 11 с.

Приложение 1

Показатели точности измерений

№ п/п	Наименование показателя	Назначение (применение)
1	Расширенная неопределенность измерения	Включается в результат измерений вместе с измеренным значением величины
2	Доверительные границы погрешности измерения	Включается в результат измерений вместе с измеренным значением величины
3	Стандартное отклонение повторяемости (СКО повторяемости). Предел повторяемости	Характеризует разброс результатов измерений в условиях повторяемости (идентичные объекты, одна лаборатория, один оператор)
4	Стандартное отклонение промежуточной прецизионности (СКО промежуточной прецизионности)	Характеризует разброс результатов измерений в условиях промежуточной прецизионности (идентичные объекты, одна лаборатория, разные операторы, оборудование, калибровка, время)
5	Стандартное отклонение воспроизводимости (СКО воспроизводимости)	Характеризует разброс результатов измерений в условиях воспроизводимости (идентичные объекты, разные лаборатории, операторы)
6	Систематическая погрешность лаборатории	Характеризует отклонение от принятого опорного значения математического ожидания результатов измерений в данной лаборатории измеряемой величины
7	Систематическая погрешность метода	Характеризует отклонение от принятого опорного значения математического ожидания результатов измерений

Приложение 2

Расшифровка обозначений классов точности на средствах измерений

Обозначение класса точности		Форма выражения погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Примечание
на средстве измерений	в документации			
0,5	Класс точности 0,5	Приведенная	$\gamma = \pm 0,5\%$	нормирующее значение выражено в единицах измеряемой величины
	Класс точности 0,5		$\gamma = \pm 0,5\%$	нормирующее значение принято равным длине шкалы или её части
	Класс точности 0,5	Относительная	$\delta = \pm 0,5\%$	$\delta = \Delta / x$
0,02/0,01	Класс точности 0,02/0,01		$\delta = \pm [0,02 + 0,01 \cdot (x_k / x - 1)] \%$	$\delta = \pm [c + d \cdot (x_k / x - 1)]$

Учебное издание

**Шувалов Геннадий Владимирович
Симонова Галина Вячеславна**

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

Редактор *E. K. Деханова*
Компьютерная верстка *A. П. Бочарниковой*

Изд. лиц. ЛР № 020461 от 04.03.1997.

Подписано в печать 30.12.2025. Формат 60 × 84 1/16.

Усл. печ. л. 2,09. Тираж 80 экз. Заказ 188.

Гигиеническое заключение

№ 54.НК.05.953.П.000147.12.02. от 10.12.2002.

Издательско-полиграфический центр СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 10.

Отпечатано в издательско-полиграфическом центре СГУГиТ
630108, Новосибирск, ул. Плахотного, 8