



— ЧТО ТАКОЕ ИЗМЕРЕНИЕ?

КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



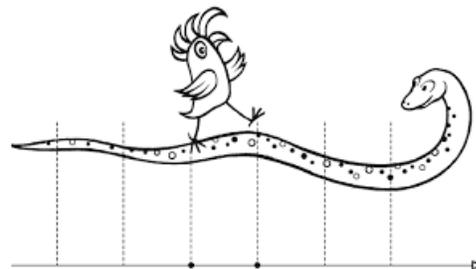
ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или не явном виде) измеряемой величины с ее единицей получение значения этой величины.



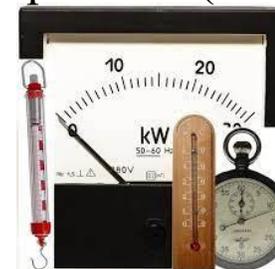
По числу измерений:

- *Однократные* измерение, выполненное один раз. Недостатком таких измерений является возможность грубой ошибки – промаха;
- *Многократные* измерение физической величины одного и того же размера, результат которого получен из нескольких следующих друг за другом измерений, т.е. состоящие из ряда однократных измерений;



По характеристике точности:

- *Равноточные* ряд измерений какой – либо величины выполненных одинаковыми по точности средствами измерений и в одних и тех же условиях с одинаковой тщательностью;
- *Неравноточные* ряд измерений какой – либо величины выполненных различающимися по точности средствами измерений и (или) в разных условиях;

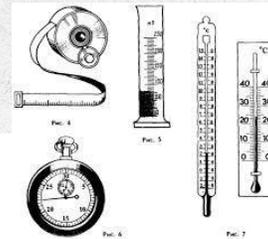


КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или не явном виде) измеряемой величины с ее единицей получение значения этой величины.



По выражению результата измерения:

- *абсолютное измерение* – измерение, основанное на прямых измерениях одной или нескольких основных величин и (или) использовании значений физических констант (например измерение силы F m g основано на измерении основной величины – массы m и использовании физической постоянной – ускорения свободного падения g (в точке измерения массы));

- *относительное измерение* – измерение отношения величины к одноименной величине, играющей роль единицы, или измерение изменения величины по отношению к одноименной величине, принимаемой за исходную;

По характеру изменения измеряемой величины:

- *Статические* измерения физической величины, принимаемой в соответствии с конкретной измерительной задачей за неизменную на протяжении времени измерения. Они проводятся при практическом постоянстве измеряемой величины;
- *Динамические* измерения изменяющиеся по размеру физической величины, для получения результата измерения которой необходимо учитывать это измерение;



КЛАССИФИКАЦИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Измерение – это совокупность операций по применению технического средства, хранящего единицу физической величины, обеспечивающих нахождение соотношения (в явном или не явном виде) измеряемой величины с ее единицей получение значения этой величины.

По способу получения числового значения:

Прямые измерение, при котором искомое значение физической величины получают непосредственно (например, измерение массы на весах, измерение длины детали микрометром);

Косвенные определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной;

Совокупные производимые одновременно измерения нескольких одноименных (однородных) величин, при которых искомые значения величин определяют путём решения системы уравнений, получаемых при измерении этих величин в различных сочетаниях;

Совместные производимые одновременно измерения двух или нескольких неоднородных величин для определения зависимости между ними. Результат измерений получают путем решения системы уравнений;

По метрологическому назначению используемых средств измерений:

технические измерения – измерения с помощью рабочих средств измерений;

метрологические измерения – измерения при помощи эталонных средств измерений с целью воспроизведения единиц физических величин для передачи их размера рабочим средствам измерений;



ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

1. Подготовка к измерениям

При подготовке к выполнению измерений следует максимально возможно исключить источники и причины, которые могут вызвать **проявление погрешности**. Под устранением источников погрешностей следует понимать как непосредственное его удаление (например, удаление источника тепла, вибрации и т.п.), так и защиту средства измерений и объекта измерений от влияния этих источников. Инструментальные погрешности, присущие данному экземпляру средства измерений, могут быть устранены до начала проведения измерений путем регулировки или ремонта, необходимость в которых устанавливается при поверке. Отсюда вытекает очень важное правило: проводить измерения можно только средствами измерений, прошедшими поверку или калибровку.

2. Проведение измерений

При выполнении измерений следует предусмотреть специальные приемы проведения измерений с тем, чтобы устранить известные **систематические погрешности**. Методы устранения систематических погрешностей: метод компенсации погрешности по знаку, метод замещения, метод рандомизации т.д.

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



3. Обработка результатов наблюдений

Полученные при измерениях результаты подлежат обработке по соответствующим статистическим правилам.

Способ обработки экспериментальных данных зависит от вида измерений (прямые, косвенные, совместные и совокупные), числа наблюдений (однократные или многократные), точности.

Косвенные измерения → **МИ 2083-90**

Прямые:

Многократные измерения → **ГОСТ Р 8.736-2011**

Однократные измерения → **Р 50.2.038-2004**

4. Запись результатов и характеристик их погрешностей

В соответствии **МИ 1317** результаты и характеристики погрешностей измерений. Формы представления. Способы использования при испытании образцов продукции и контроля их параметров.

КОСВЕННЫЕ ОДНОКРАТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ



Ход выполнения лабораторной работы

Измеряемые параметры	Цилиндр 1 (маленький)		Цилиндр 2 (большой)	
	Микрометр	ШЦ	ШЦ	линейка
Диаметр d , мм	Измеряемое значение	Измеряемое значение	Измеряемое значение	Измеряемое значение
Высота h , мм	Измеряемое значение	Измеряемое значение	Измеряемое значение	Измеряемое значение
Объем V , мм	Расчет п. 1	Расчет п. 1	Расчет п. 1	Расчет п. 1
Относительная погрешность	Расчет п. 2	Расчет п. 2	Расчет п. 2	Расчет п. 2
Абсолютная погрешность	Расчет п. 3	Расчет п. 3	Расчет п. 3	Расчет п. 3

1. Определить объём цилиндра, используя соотношение:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}, \text{ мм}^3$$

где:

$\pi = 3,14$ – числовой коэффициент;
 d – диаметр цилиндра, мм;
 h – высота цилиндра, мм.

КОСВЕННЫЕ ОДНОКРАТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ



2. Определить относительную погрешность измерений, выраженную в относительных единицах

$$\delta_V = \frac{\Delta V}{V}$$

Нужно вывести данную формулы самостоятельно!

В полученной формуле Δd , Δh – погрешности средств измерений, используемых при измерениях.

Для определения относительной погрешности измерений δ_V необходимо формулу пункта 2 преобразовать в удобную для расчета, используя формулу:

$$\Delta y = \frac{\partial y}{\partial x_1} \Delta x_1 + \frac{\partial y}{\partial x_2} \Delta x_2 + \dots + \frac{\partial y}{\partial x_n} \Delta x_n.$$

Погрешности в произведениях и частных. Если измеренные значения x_1, x_2, \dots, x_n

используются для вычисления $y = x_1 x_2 \dots x_n$ или $y = \frac{x_1}{x_2}$, то суммируются относительные погрешности $\delta y = \delta x_1 + \delta x_2 + \dots + \delta x_n$, где $\delta y = \frac{\Delta y}{y}$.

ПОГРЕШНОСТЬ ЗАПИСИ (ОКРУГЛЕНИЯ) ЧИСЛА



Погрешность записи (округления) числа определяется как отношение половины единицы младшего разряда числа к значению числа.

Например, для нормального ускорения падающих тел $g = 9,81 \text{ м/с}^2$, единица младшего разряда равна 0,01, следовательно, погрешность записи числа 9,81

$$\delta = \frac{0,01}{2 \cdot 9,81} = 5,1 \cdot 10^{-4} = 0,05 \%$$

КОСВЕННЫЕ ОДНОКРАТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ



3. Определить погрешность вычисления объема по формуле:

$$\Delta V = \delta_V V, \text{ мм}^3$$

4. Округлить погрешности измерений и записать результат измерений объёмов цилиндров

$$V = (V \pm \Delta V), \text{ мм}^3$$

5. Изобразить на рисунках области, в которых находятся результаты измерений объемов, полученные разными средствами измерений для каждого из цилиндров.

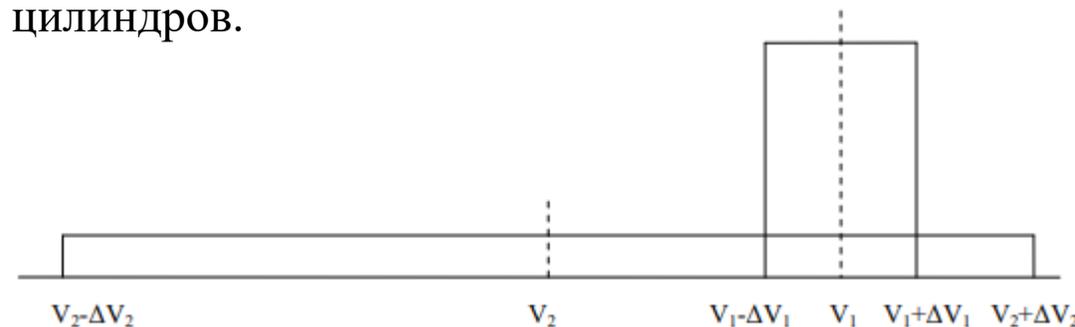


Рисунок 1 – цилиндр 1 (большой)

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ И ЗАПИСЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Форма представления результатов должна соответствовать **МИ 1317**

Например:

результат измерения напряжения следует представить в форме:

$U = 0,904 \text{ В}; \Delta = \pm 0,027 \text{ В}; P = 0,95$ или **$(0,904 \pm 0,027) \text{ В}; P = 0,95$** .

В соответствии с МИ 1317 погрешность измерений выражается числом с одной или двумя значащими цифрами.

Значащее число – это число не равное нулю.

Нули, стоящие в начале числа, не являются значащими. Ноль, стоящий в середине или в конце числа, всегда является значащей цифрой.

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ



1. Если первая значащая цифра числа (это первая цифра числа не равная нулю), выражающего погрешность, равна 1 или 2, то это значение погрешности должно содержать две значащих цифры. Ниже приведены примеры округления погрешностей измерения.

Вычисленная погрешность

$$\Delta = 219,99 \text{ м}$$

$$\Delta = 1,99 \text{ кг}$$

$$\Delta = 0,0176 \text{ А}$$

Округленная погрешность

$$\Delta = ? \text{ м}$$

$$\Delta = ? \text{ кг}$$

$$\Delta = ? \text{ А}$$

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

2. Если первая значащая цифра числа, выражающего погрешность, равна 3 и более, то значение погрешности должно содержать одну значащую цифру. Ниже приведены примеры округления погрешностей измерения.

Вычисленная погрешность

$$\Delta = 0,0327 \text{ В}$$

$$\Delta = 76,78 \text{ Дж}$$

$$\Delta = 678,59 \text{ Гн}$$

Округленная погрешность

$$\Delta = ? \text{ В}$$

$$\Delta = ? \text{ Дж}$$

$$\Delta = ? \text{ Гн}$$

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

3. При записи результатов измерений числовое значение результата измерения должно оканчиваться цифрой того же разряда, что и значение погрешности. Ниже приведены примеры записи результатов измерений.

Вычисленная погрешность

$$X = 0,0149699 \text{ Ф}; \Delta = \pm 0,000123 \text{ Ф}$$

$$X = 3467,83 \text{ г}; \Delta = \pm 67,15 \text{ г}$$

$$X = 329,756 \text{ с}; \Delta = \pm 0,072 \text{ с}$$

Округленная погрешность

$$X = (? \pm ?) \text{ мФ}$$

$$X = (? \pm ?) \text{ кг}$$

$$X = (? \pm ?) \text{ с}$$

ПРАВИЛА ОКРУГЛЕНИЯ ПОГРЕШНОСТИ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

-
4. Число цифр в промежуточных вычислениях при обработке результатов измерений должно быть на две больше, чем в окончательном результате.
 5. Погрешность при промежуточных вычислениях должна быть выражена не более чем тремя значащими цифрами.
 6. Сохраняемую значащую цифру в погрешности при округлении увеличивают на единицу, если отбрасываемая цифра неукзываемого младшего разряда больше либо равна пяти, и не изменяют, если она меньше пяти.

ОСНОВНЫЕ ВИДЫ ПОГРЕШНОСТИ



ПО ИСТОЧНИКУ ВОЗНИКНОВЕНИЯ



- a) **Погрешность метода** – это погрешности, обусловленные несовершенством метода измерений, приемами использования средств измерений, некорректностью расчетных формул и округления результатов, проистекающие от ошибочности или недостаточной разработки принятой теории метода измерений в целом или от допущенных упрощений при проведении измерений.
- b) **Инструментальная погрешность** (погрешность инструмента) обуславливается погрешностью примененных средств измерений. Например, погрешность из-за неточной градуировки измерительного прибора.
- c) **Субъективная погрешность** обуславливается несовершенством органов чувств оператора. Такого рода погрешности вызываются, например, запаздыванием или опережением при регистрации сигнала, неправильным отсчетом десятых долей деления шкалы, асимметрией, возникающей при установке штриха посередине между двумя рисками и т.д. Например, погрешность при измерении частоты методом биений со слуховым контролем.

ОТ УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Основная погрешность - погрешность, возникающая в нормальных условиях применения средства измерения (температура, влажность, напряжение питания и др.), которые нормируются и указываются в стандартах или технических условиях.

Дополнительная погрешность обуславливается отклонением одной или нескольких влияющих величин от нормального значения. Например, изменение температуры окружающей среды, изменение влажности, колебания напряжения питающей сети. Значение дополнительной погрешности нормируется и указывается в технической документации на средства измерения.

Дополнительная погрешность от воздействия влияющей величины – это изменение оцененной статической функции преобразования, которое вызвано отклонением одной из влияющих величин от установленного при нормальных условиях номинального значения или номинального диапазона, причем все другие влияющие величины сохраняют свое номинальное значение или свой номинальный диапазон.

ПО ХАРАКТЕРУ ПРОЯВЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Систематическая погрешность измерения (Δ_c) — составляющая погрешности результата измерения, остающаяся постоянной (или же закономерно изменяющейся) при повторных измерениях одной и той же величины.

Случайная погрешность ($\dot{\Delta}$) — составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

В процессе измерения оба вида погрешностей проявляются одновременно, и погрешность измерения можно представить в виде суммы: $\Delta = \Delta_c + \dot{\Delta}$

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений, например, внезапное падение напряжения в сети электропитания.

ОТ ВРЕМЕННОГО ХАРАКТЕРА ИЗМЕРЯЕМОЙ ВЕЛИЧИНЫ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Статическая погрешность - погрешность при измерении постоянной по времени величины.

Например, погрешность измерения неизменного за время измерения напряжения постоянного тока.

Динамическая погрешность - погрешность измерения изменяющейся во времени величины.

Например, погрешность измерения коммутируемого напряжения постоянного тока, обусловленная переходными процессами при коммутации, а также ограниченным быстродействием измерительного прибора.

ПО СПОСОБУ ВЫРАЖЕНИЯ



Абсолютная погрешность – погрешность средства измерений, выраженная в единицах измеряемой величины. Абсолютная погрешность вычисляется, как разность между показаниями средств измерений и истинным (действительным) значением измеряемой величины, по формуле:

$$\Delta = X - X_d$$

Пределы допускаемой основной абсолютной погрешности могут быть заданы в виде:

$$\Delta = \pm \alpha \text{ или } \Delta = \pm bx \text{ либо } \Delta = \pm \alpha + bx$$

где Δ - пределы допускаемой абсолютной погрешности, выраженной в единицах измеряемой величины на входе (выходе) или условно в делениях шкалы;

x – значение измеряемой величины на выходе (выходе) средств измерений или число делений, отсчитанных по шкале;

α, b – положительные числа, не зависящие от x .

Относительная погрешность – погрешность средства измерений, выраженная отношением абсолютной погрешности средств измерений к результату измерений или к действительному значению измеренной физической величины. Относительная погрешность средств измерений вычисляется по формуле:

$$\delta = \frac{\Delta}{X_{\text{из}}} * 100 \%$$

где Δ - предел допускаемой погрешности; $X_{\text{из}}$ – значение измеряемой величины на входе (выходе) средств измерений.

Пределы допускаемой относительной основной погрешности устанавливают:

$$\text{если } \Delta = \pm bx \quad \delta = \pm q$$

$$\text{если } \Delta = \pm a + bx \quad \delta = \pm [c + d(\frac{x_k}{x} - 1)]$$

где x_k - больший (по модулю) из пределов измерений; c, d – положительные числа, $c = b + d$

$$d = \frac{a}{|x_k|}$$

Приведенная погрешность – относительная погрешность, выраженная отношением абсолютной погрешности средства измерений к условно принятому значению величины (нормирующему значению), постоянному во всем диапазоне измерений или в части диапазона. Приведенная погрешность средства измерений определяется по формуле:

$$\gamma = \frac{\Delta}{x_n} * 100 \%$$

где Δ - пределы допускаемой абсолютной основной погрешности.

x_n - нормирующие значения, выраженное в тех же единицах, что и Δ .

ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОГРЕШНОСТИ ИЗМЕРЕНИЙ



Характеристики погрешности, формы их представления определяют методические указания МИ 1317 «ГСИ. Результаты и характеристики погрешности измерений. Формы представления. Способы использования при испытаниях образцов продукции и контроле их параметров».

В зависимости от области применения и способов выражения используемые характеристики погрешности измерений могут быть разделены на следующие группы:

- Задаваемые в качестве требуемых или допускаемых значений – **нормы** характеристик погрешностей измерений. Например, требования ГОСТа или технического задания и т.д.;
- Приписываемые любому результату измерений из совокупности результатов измерений, выполняемых по одной и той же аттестованной МВИ – **приписанные характеристики** погрешности измерений. Например, метод контроля какой-либо продукции, изложенной в ГОСТе или отдельной методике выполнения измерений(МВИ);
- Отражающие близость отдельного, Экспериментально полученного результата измерений к истинному значению измеряемой величины – **статистические оценки** характеристик погрешностей измерения.

КЛАССЫ ТОЧНОСТИ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ



Обозначение классов точности СИ присваивают в соответствии с ГОСТ 8.401-80 «ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.»

Класс точности СИ — обобщенная характеристика, выражаемая пределами допускаемых (основной и дополнительной) погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность. Классы точности конкретного типа СИ устанавливают в НД. При этом для каждого класса точности устанавливают конкретные требования к метрологическим характеристикам, в совокупности отражающим уровень точности СИ данного класса.

Классы точности присваиваются средствам измерений при их разработке (по результатам приемочных испытаний). В связи с тем что при эксплуатации их метрологические характеристики обычно ухудшаются, допускается понижать класс точности по результатам поверки (калибровки). Таким образом, класс точности позволяет судить о том, в каких пределах находится погрешность измерений этого класса. Это важно знать при выборе СИ в зависимости от заданной точности измерений.

ОБОЗНАЧЕНИЕ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ В ДОКУМЕНТАЦИИ

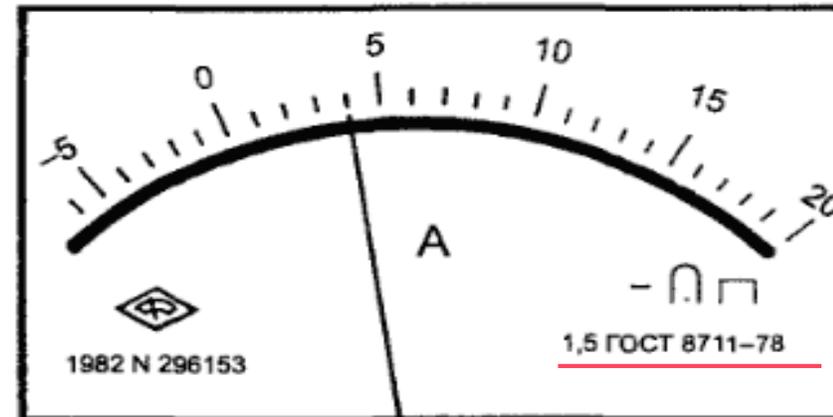


Формула для определения пределов допускаемой основной погрешности	Пределы допускаемой основной погрешности	Обозначение класса точности в документации	Обозначение класса на средство измерений
Абсолютная $\Delta = \pm a$	При измерении постоянного тока $\Delta = \pm 0,4A$	Класс точности М	М
Абсолютная $\Delta = a + bx$	При измерении линейно измеряющего напряжения	Класс точности С	С
Приведенная $\gamma = \pm p$	$\gamma = \pm 1,5 \%$ $\gamma = \pm 0,5$	Класс точности 1,5 Класс точности 0,5	1,5 
Относительная $\delta = \pm q$	$\delta = \pm 0,5 \%$	Класс точности 0,5	
$\delta = \pm \left[c + d \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right]$	$\delta = \pm \left[0,02 + 0,01 \left(\frac{x_k}{x} - 1 \right) \right]$	Класс точности 0,02/0,01	0,02/0,01

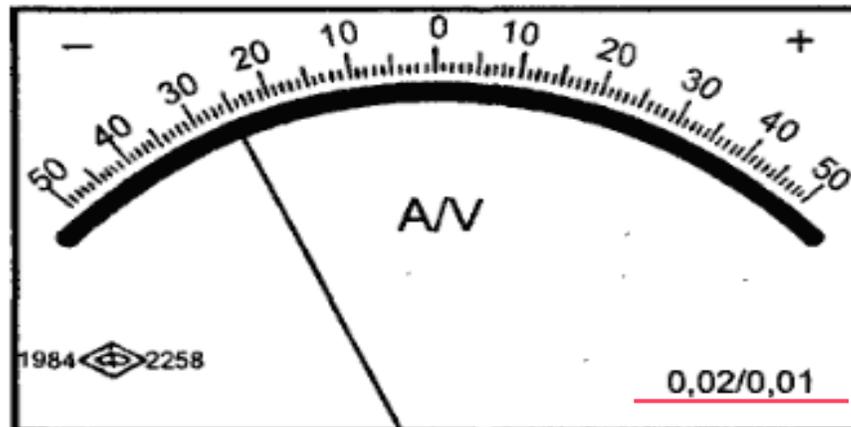
ОБОЗНАЧЕНИЕ КЛАССОВ ТОЧНОСТИ НА СРЕДСТВАХ ИЗМЕРЕНИЙ



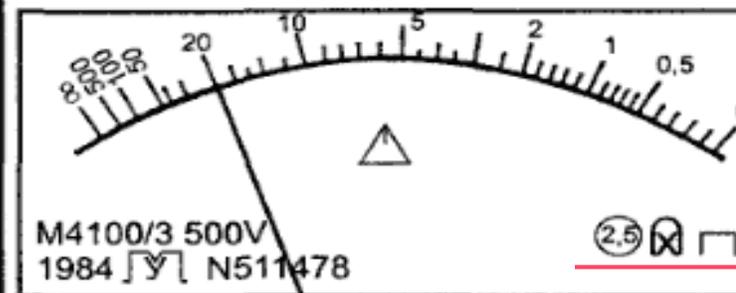
а



б



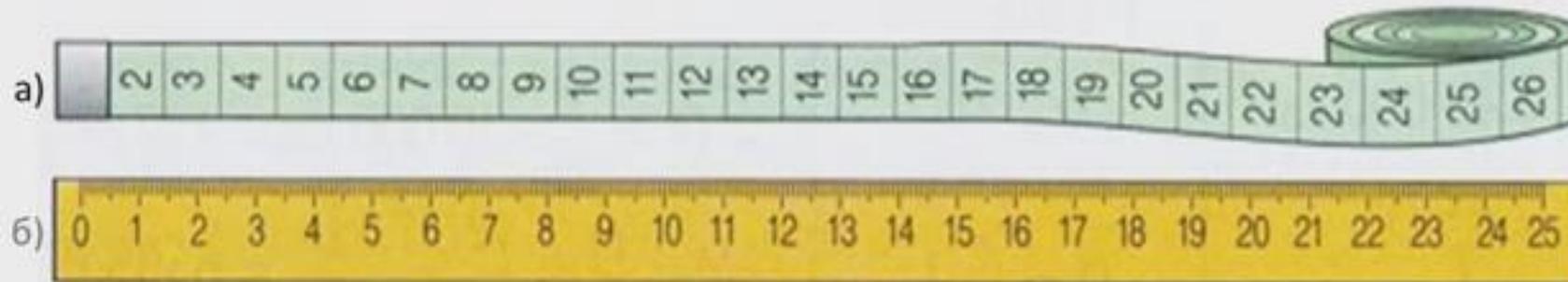
в



г



Какой же прибор точнее? Цена деления
какого меньше или больше?





КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

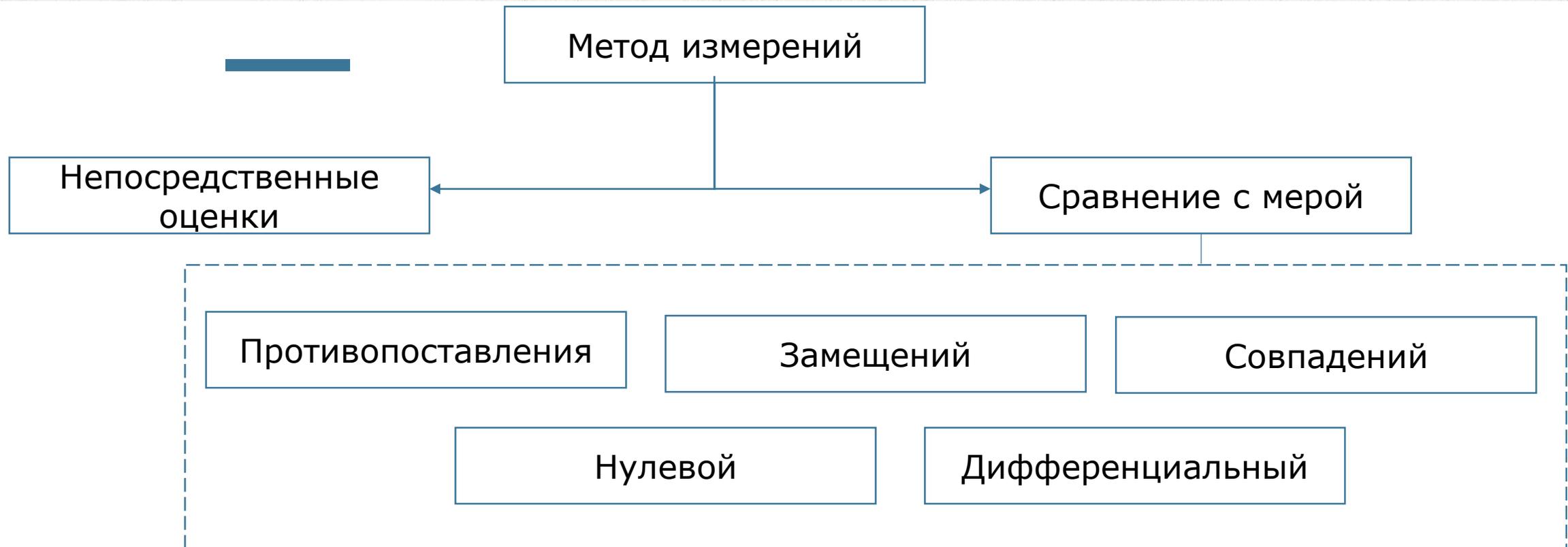
Под методом измерения понимают совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Для **прямых измерений** можно выделить несколько основных методов:

- Непосредственной оценки;
- Сравнения с мерой;
- Дифференциальный;
- Нулевой;
- Совпадений;
- Замещения;

При **косвенных измерениях** широко применяют преобразование измеряемой величины в процессе измерений.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Метод непосредственной оценки дает значение измеряемой величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

Например, измерение давления пружинным манометром, массы на циферблатных весах, силы электрического тока амперметром и т.д.

Точность измерений с помощью этого метода бывает ограниченной, но быстрота процесса измерения делает его незаменимым для практического применения.

Наиболее многочисленной группой средство измерений, применяемых для измерения этим методом, являются показывающие, в том числе и стрелочные, приборы (манометры, вольтметры, расходомеры и др.).

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

В случае выполнения особо точных измерений применяют **метод сравнения с мерой**, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Например, **измерение массы на рычажных весах с уравниванием гирям или измерение напряжения постоянного тока на компенсаторе сравнения с ЭДС нормального элемента.**

Метод сравнения с мерой, в котором измеряемая величина и величина, воспроизводимая мерой, одновременно воздействует на прибор сравнения, с помощью которого устанавливается соотношение между этими величинами, называется **методом противопоставления**.

Например, взвешивание груза на равноплечих весах, когда измеряемая масса определяется как сумма масс гирь, ее уравнивающих, и показания по шкале весов. Этот метод позволяет уменьшить воздействие на результаты измерений влияющих величин, так как они более или менее равномерно искажают сигналы измерительной информации как в цепи преобразования измеряемой величины, так и в цепи преобразования величины, воспроизводимой мерой.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Дифференциальный (разностный) метод характеризуется измерением разности между значениями измеряемой и известной (воспроизводимой мерой) величин.

Например, измерения путем сравнения с образцовой мерой на компараторе, выполняемые при поверке мер длины.

Дифференциальный метод позволяет получать результаты с высокой точностью даже при применении относительно грубых средств для измерения разности. Но осуществлять этот метод возможно только при условии воспроизведения с большой точностью известной величины, значение которой близко к значению измеряемой. Это во многом случаях легче, чем изготовить средство измерений высокой точности.

Нулевой метод – метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.

Например, измерения электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием.

Дифференциальные и нулевые методы нашли очень широкое применение во всех видах измерений: от производственных (в цехах) до сличений эталонов, так как используемые меры (гири, нормальные элементы, катушки и магазины сопротивлений) точнее, чем соответствующие им по стоимости и степени распространения приборы.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Метод совпадений – этот метод сравнений с мерой, в котором разность между значениями искомой и воспроизводимой мерой величин измеряют, используя совпадения отметок шкал или периодических сигналов.

Например, при измерении длины с помощью штангенциркуля с нониусом наблюдают совпадение отметок на шкалах штангенциркуля и нониуса.

В производственной практике метод совпадений иногда называют **нониусным**. Этот метод позволяет существенно увеличить точность сравнения с мерой.

КЛАССИФИКАЦИЯ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Метод замещения основан на сравнении с мерой, при котором измеряемую величину замещают известной величиной, воспроизводимой мерой, сохраняя все условия неизменным.

Например: взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов; измерение электрического сопротивления резистора путем замены его магазином сопротивлений и подбором значения его сопротивления до получения прежних показаний омметра, моста или другого прибора, обладающего достаточной чувствительностью при любой систематической погрешности, так как отчет берется по мере, а не по прибору.

Погрешность измерения определяется в основном погрешностью меры и зоной нечувствительности прибора (ноль - индикатора), а потому весьма мала. Недостатком метода замещения является необходимость применения многозначных мер (магазина мер, батареи нормальных элементов, набора гирь и т.д.).

Комбинация методов замещения и дифференциального хотя несколько снижает точность, но позволяет использовать меньше наборы мер.



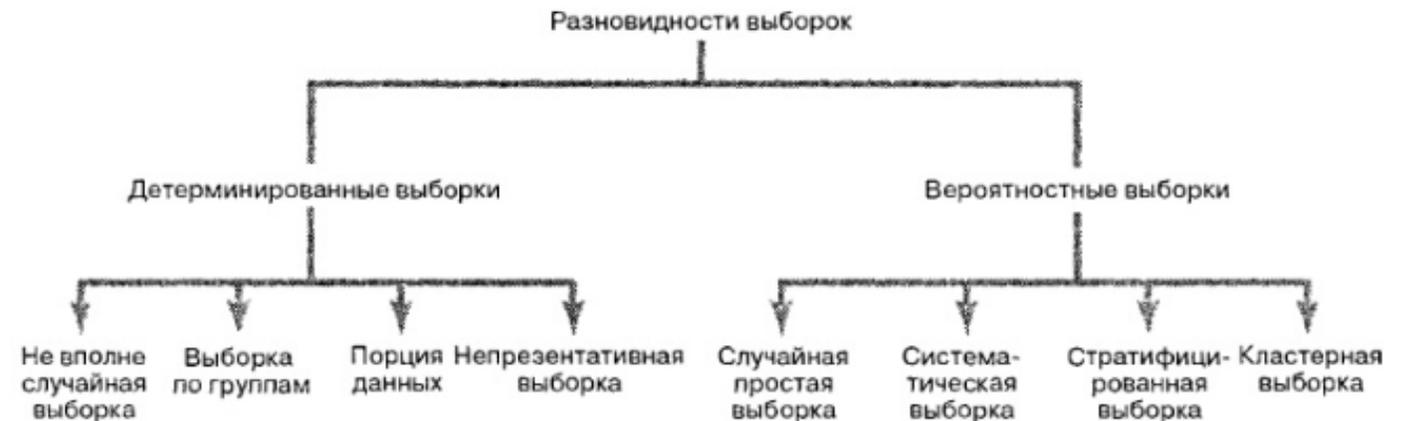
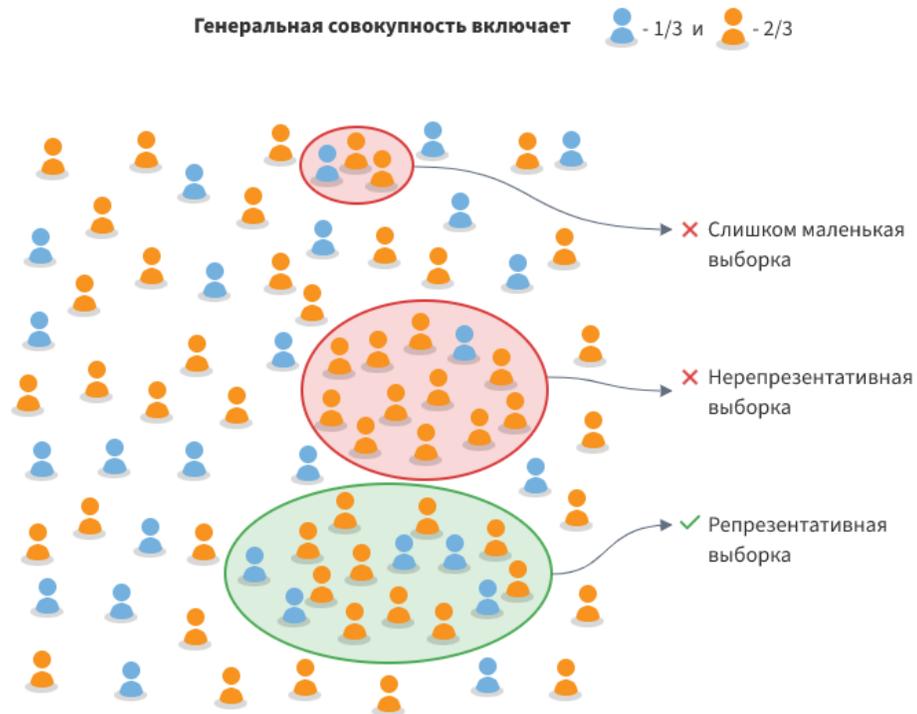
ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЯМЫХ МНОГОКРАТНЫХ ИЗМЕРЕНИЙ

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Выборка - ряд из x результатов измерений $\{x_i\}$, $i=1, \dots, n$ ($n > 30$), из которых исключены известные систематические погрешности. Объем выборки определяется требованиями точности измерений и возможностью производить повторные измерения.



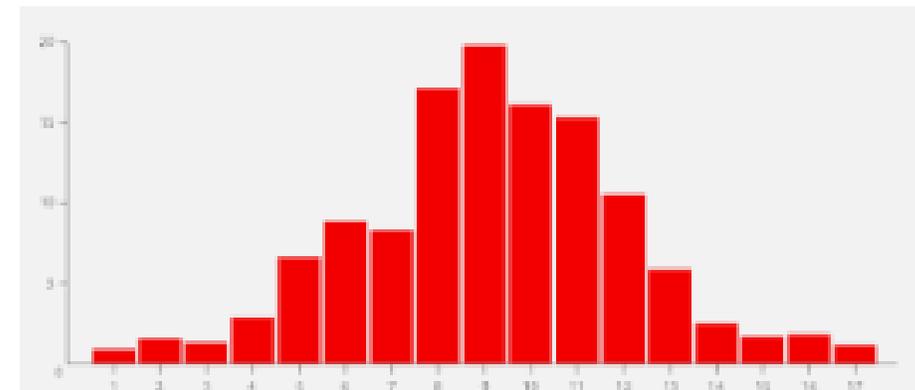
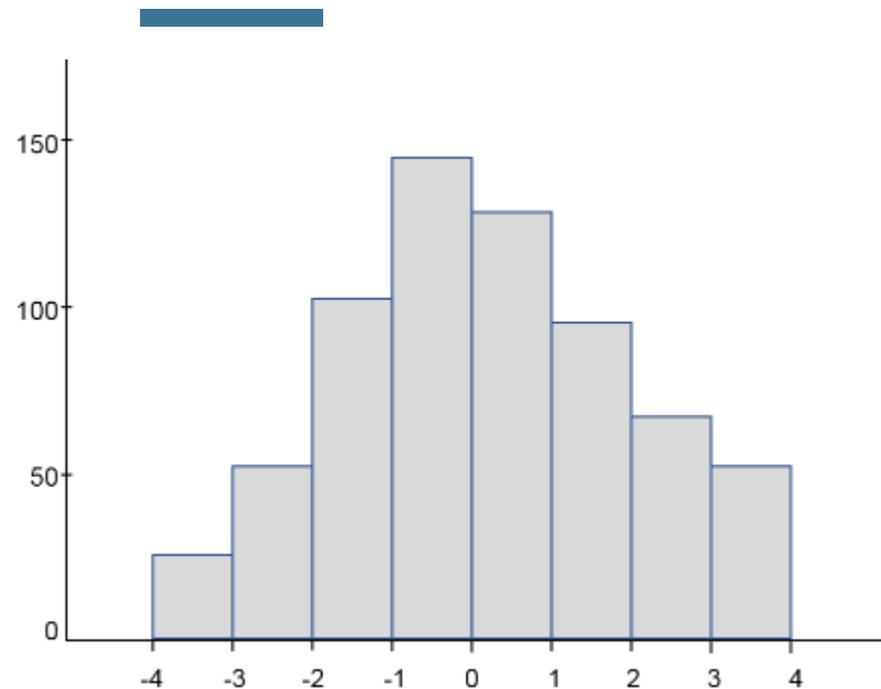
ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Вариационный ряд – выборка, упорядоченная по возрастанию.

Гистограмма – зависимость относительных частот попадания результатов измерения в интервалы группирования от их значений, представленная в графическом виде.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Доверительные границы погрешности результата измерения – границы интервала, внутри которого с заданной вероятностью находится искомое (истинное) значение погрешности результата измерений.

Оценка закона распределения – оценка соответствия экспериментального закона распределения теоретическому распределению. Проводится с помощью специальных статистических критериев. При $n < 15$ не проводится.

Точечные оценки закона распределения – оценки закона распределения, полученные в виде одного числа, например, оценка дисперсии результатов измерений или оценка математического ожидания и т.д.



ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

В зависимости от характера проявления различают **систематическую** (Δ_C) и **случайную** ($\overset{0}{\Delta}$) составляющие погрешности измерений, а также **грубые погрешности (промахи)**.

Грубые погрешности (промахи) возникают из-за ошибочных действий оператора, неисправности СИ или резких изменений условий измерений, например, внезапное падение напряжения в сети электропитания. К ним тесно примыкают промахи – погрешности, зависящие от наблюдателя и связанные с неправильным обращением со средствами измерений.

Систематическая погрешность измерения (систематическая погрешность Δ_C) – это составляющая погрешности результата измерений, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же физической величины.

Считается, что систематические погрешности могут быть обнаружены и исключены. Однако в реальных условиях полностью исключить систематическую составляющую погрешности измерения **невозможно**. Всегда остаются какие-то факторы, которые нужно учитывать, и которые будут составлять неисключенную систематическую погрешность.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Неисключенная систематическая погрешность (НСП): Составляющая погрешности результата измерений, обусловленная погрешностями вычисления и введения поправок на влияние систематических погрешностей или систематической погрешностью, поправка на действие которой не введена вследствие ее малости.

Неисключенная систематическая погрешность характеризуется её **границами**.

Границы неисключенной систематической погрешности Θ при числе слагаемых $N \leq 3$ вычисляют по формуле:

$$\Theta = \pm \sum_{i=1}^N |\Theta_i|, \quad (1)$$

где $i \Theta$ – граница i -ой составляющей неисключенной систематической погрешности.

При числе неисключенных систематических погрешностей $N \geq 4$ вычисление проводят по формуле

$$\Theta = \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^N \Theta_i^2}, \quad (2)$$

где k – коэффициент зависимости отдельных неисключенных систематических погрешностей от выбранной доверительной вероятности P при их равномерном распределении (при $P = 0,95$, $k = 1,1$; при $P = 0,99$, $k = 1,4$). Здесь Θ рассматривается как доверительная квазислучайная погрешность.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Случайная погрешность измерения ($\dot{\Delta}$) – составляющая погрешности результата измерений, изменяющаяся случайным образом (по знаку и значению) при повторных измерениях, проведенных с одинаковой тщательностью, одной и той же физической величины.

Для уменьшения случайной составляющей погрешности проводят *многократные* измерения.

Случайная погрешность оценивается доверительным интервалом:

$$\dot{\Delta} = \pm t_p S_{\bar{x}}, \quad (3)$$

где t_p – коэффициент Стьюдента для данного уровня доверительной вероятности P_d и объема выборки n (число измерений).

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



Средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений в ряду измерений (средняя квадратическая погрешность результата измерений): Оценка S_x рассеяния единичных результатов измерений в ряду равноточных измерений одной и той же физической величины около среднего их значения, вычисляемая по формуле:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

где i_x – результат i -го единичного измерения;

\bar{x} – среднее арифметическое значение измеряемой величины из n единичных результатов.

Примечание – На практике широко распространен термин **среднее квадратическое отклонение – (СКО)**. Под отклонением в соответствии с приведенной выше формулой понимают отклонение единичных результатов в ряду измерений от их среднего арифметического значения. *В метрологии, это отклонение называется погрешностью измерений.*

Средняя квадратическая погрешность результата измерений среднего арифметического: Оценка $S_{\bar{x}}$ случайной погрешности среднего арифметического значения результата измерений одной и той же величины в данном ряду измерений, вычисляемая по формуле:

$$S_{\bar{x}} = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum (x_i - \bar{x})^2}, \quad (5)$$

где S_x – средняя квадратическая погрешность результатов единичных измерений, полученная из ряда равноточных измерений; n – число единичных измерений в ряду.

Классификационные признаки средств измерений

Классификационный признак	Генератор ГЗ - 109	Вольтметр В7 – 22А
Вид СИ		
Тип выходной величины		
Форма представления информации		
Назначение		
Метрологическое назначение		
Нормируемые метрологические характеристики СИ		



вариационный ряд на интервалы;

границы первого интервала $m_1: [x_{\min}; x_{\min} + h];$

граница второго интервала равна $m_2: (x_{\min} + h; x_{\min} + h + h);$

и т.д.

г) вычислить относительные частоты

$$\bar{n}_j = \frac{n_j}{n},$$

n_i	x_i	$\Delta x = x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	Вариационный ряд	n_j	\bar{n}_j
1	2	3	4	5	6	7
1	x_1	$x_1 - \bar{x}$	$(x_1 - \bar{x})^2$	Δx_{\min}		
2	x_2	$x_2 - \bar{x}$	$(x_2 - \bar{x})^2$			
...		
19	x_{19}	$x_{19} - \bar{x}$	$(x_{19} - \bar{x})^2$			
20	x_{20}	$x_{20} - \bar{x}$	$(x_{20} - \bar{x})^2$	Δx_{\max}		
	$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$		$\sum_{i=1}^{n=20} (x_i - \bar{x})^2$			

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Обработку результатов наблюдений проводят в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые с многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения»

1. Определение точечных оценок закона распределения

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

2. Построение экспериментального закона распределения результатов многократных наблюдений:

а) Записать вариационный ряд результатов многократных наблюдений x_i ;

б) определить число интервалов группирования по формуле $m \approx 3,3 \lg(n) + 1$ (для $n = 20$ $m \approx (5 - 6)$);

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



в) вычислить интервал группирования $h = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{m}$ и разбить вариационный ряд на интервалы;

границы первого интервала $m_1: [x_{\min}; x_{\min} + h];$

граница второго интервала равна $m_2: (x_{\min} + h; x_{\min} + h + h];$

и т.д.

г) вычислить относительные частоты $\bar{n}_j = \frac{n_j}{n},$

где $j = 1, \dots, m;$

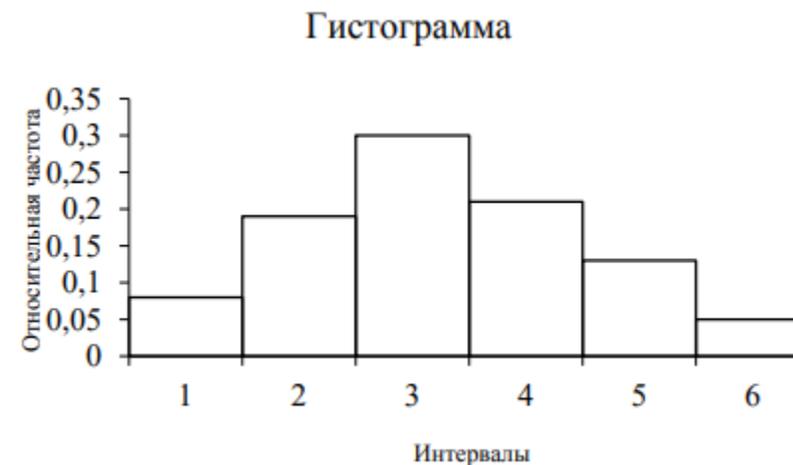
n_j – число значений x из вариационного ряда, попавших в j -ый интервал группирования;

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



! Оценка критерия Граббса

д) построить гистограмму



При малых $n < 15$ гистограмма позволяет оценить тип экспериментального распределения только качественно, и оценка соответствия выборочного распределения теоретическому распределению не производится. Данная в примере гистограмма позволяет предположить нормальный характер распределения результатов многократных наблюдений.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



Исключение грубых погрешностей

Для исключения **грубых** погрешностей используют критерий Граббса. Статистический критерий Граббса исключения грубых погрешностей основан на предположении о том, что группа результатов измерений принадлежит нормальному распределению. Для этого вычисляют критерии Граббса G_1 и G_2 , предполагая, что наибольший x_{\max} или наименьший $\min x$ результат измерений вызван грубыми погрешностями:

$$G_1 = \frac{|x_{\max} - \bar{x}|}{S_x}, G_2 = \frac{|\bar{x} - x_{\min}|}{S_x} \quad (6)$$

Сравнивают G_1 и G_2 с теоретическим значением G_T критерия Граббса при выбранном уровне значимости q . Если $G_1 > G_T$, то x_{\max} исключают как маловероятное значение. Если $G_2 > G_T$, то $\min x$ исключают как маловероятное значение. Далее вновь вычисляют среднее арифметическое и среднее квадратическое отклонения ряда результатов измерений и процедуру проверки наличия грубых погрешностей повторяют.

Если $G_1 \leq G_T$, то x_{\max} не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений. Если $G_2 \leq G_T$, то $\min x$ не считают промахом и его сохраняют в ряду результатов измерений.

ИСКЛЮЧЕНИЕ ГРУБЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

Критические значения G_T для критерия Граббса

n	Значение при уровне значимости q		n	Значение при уровне значимости q	
	Свыше 1 %	Свыше 5 %		Свыше 1 %	Свыше 5 %
4	1,496	1,481	21	3,031	2,733
5	1,764	1,715	22	3,060	2,758
6	1,973	1,887	23	3,087	2,781
7	2,139	2,020	24	3,112	2,802
8	2,274	2,126	25	3,135	2,822
9	2,387	2,215	26	3,157	2,841
10	2,482	2,290	27	3,178	2,859
11	2,564	2,355	28	3,199	2,876
12	2,636	2,412	29	3,218	2,893
13	2,699	2,462	30	3,236	2,908
14	2,755	2,507	31	3,253	2,924
15	2,806	2,549	32	3,270	2,938
16	2,852	2,585	33	3,286	2,952
17	2,894	2,620	34	3,301	2,965
18	2,932	2,651	36	3,330	2,991
19	2,968	2,681	38	3,356	3,014
20	3,001	2,709	40	3,381	3,036

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



3. Определение доверительных границ случайной погрешности:

а) Задать доверительную вероятность из ряда $P_d = 0,9; 0,95; 0,99$.

б) Определить доверительные границы случайной погрешности по формуле:

$$\Delta = \pm t_p S_{\bar{x}},$$

где t_p – коэффициент Стьюдента для данного уровня доверительной вероятности P_d и объема выборки n (число измерений).

Коэффициенты Стьюдента

Число ст. свободы, n-1	P		Число ст. свободы, n-1	P	
	0.95	0.99		0.95	0.99
1	12,710	63,661	18	2,101	2,878
2	4,302	9,922	19	2,091	2,859
3	3,182	5,841	20	2,086	2,845
4	2,776	4,604	21	2,083	2,834
5	2,571	4,032	22	2,074	2,819
6	2,447	3,707	23	2,071	2,814
7	2,365	2,998	24	2,064	2,797
8	2,306	3,355	25	2,062	2,791
9	2,262	3,250	26	2,056	2,779
10	2,228	3,169	27	2,053	2,772
11	2,201	3,111	28	2,048	2,763
12	2,179	3,055	29	2,054	2,762
13	2,162	3,013	30	2,042	2,750
14	2,145	2,977	40	2,021	2,73
15	2,134	2,951	60	2,012	2,656
16	2,120	2,921	120	1,981	2,621
17	2,112	2,871	∞	1,960	2,576

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



4. Определение границ неисключенной систематической погрешности

Неисключенная систематическая погрешность определяется погрешностью метода, субъективной погрешностью, основными погрешностями СИ (вольтметра, генератора), дополнительными погрешностями. Они определяются нестатистическими методами. Суммарные границы неисключенной систематической погрешности определяются по формуле:

$$\Theta = \begin{cases} \pm k \sqrt{\sum_{i=1}^N \Theta_i^2} & , \text{ при } N > 4 \\ \pm \sum_{i=1}^N |\Theta_i| & , \text{ при } N \leq 3 \end{cases}$$



где N – количество составляющих неисключенной систематической погрешности.

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



5. Определение доверительных границ погрешности оценки измеряемой величины

Доверительные границы погрешности оценки измеряемой величины находят путем построения композиции распределений случайных погрешностей и НСП, рассматриваемых как случайные величины. Границы погрешности оценки измеряемой величины Δ (без учета знака) вычисляют по формуле

$$\Delta = K \cdot S_{\Sigma}, \quad (7)$$

где K – коэффициент, зависящий от соотношения случайной составляющей погрешности и НСП. Суммарное среднее квадратическое отклонение S_{Σ} оценки измеряемой величины вычисляют по формуле

$$S_{\Sigma} = \sqrt{S_{\Theta}^2 + S_{\bar{x}}^2}, \quad (8)$$

где S_{Θ} – среднее квадратическое отклонение НСП, которое оценивают в зависимости от способа вычисления НСП по формуле

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta_{\Sigma}}{\sqrt{3}}, \quad (9)$$

где Θ_{Σ} – границы НСП, которые определяют по одной из формул

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



или

$$S_{\Theta} = \frac{\Theta_{\Sigma}(P)}{k\sqrt{3}}, \quad (10)$$

где $\Theta_{\Sigma}(P)$ – доверительные границы НСП, которые определяют по одной из формул (2);

k – коэффициент, определяемый принятой доверительной вероятностью P , числом составляющих НСП и их соотношением между собой.

Коэффициент K для подстановки в формулу (7) в зависимости от числа НСП определяют по эмпирическим формулам соответственно

$$K = \frac{\overset{\circ}{\Delta} + \Theta_{\Sigma}}{S_{\bar{x}} + S_{\Theta}}, \quad K = \frac{\overset{\circ}{\Delta} + \Theta_{\Sigma}(P)}{S_{\bar{x}} + S_{\Theta}}.$$

АЛГОРИТМ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

6. Записать результат измерения в виде $V = (V \pm \Delta V)$, мм³ с указанием единиц измерения МИ 1317.

Обработку результатов наблюдений проводят в соответствии с ГОСТ 8.736 «ГСИ. Измерения прямые с многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения»

7. Вывод по работе.



ТОМСКИЙ
ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ



ИНЖЕНЕРНАЯ ШКОЛА
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
И РОБОТОТЕХНИКИ

МЕТРОЛОГИЯ, СТАНДАРТИЗАЦИЯ И СЕРТИФИКАЦИЯ

Виды измерений, обработка
результатов измерений.

Воскобойникова Ольга Борисовна
Ст. преподаватель ОАР ИШИТР

19.02.2024