

# ОСНОВЫ ТЕОРИИ ИЗМЕРЕНИЙ



План.

- 1. Правила выполнения измерений**
- 2. Основные понятия теории измерений**

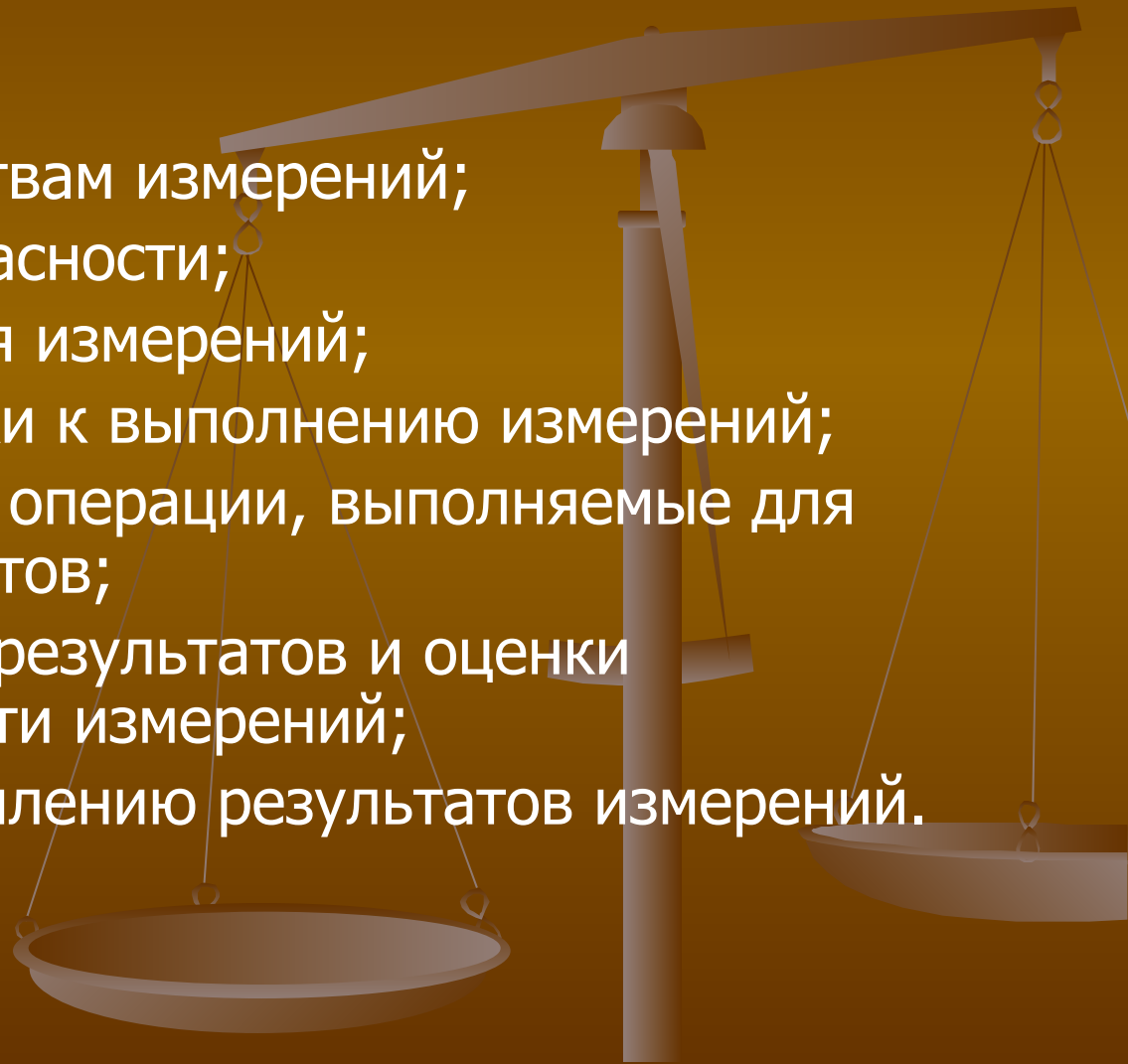
# 1. Правила выполнения измерений

- Правила выполнения измерений оговорены в методике выполнения измерений.
- **Методика выполнения измерений (МВИ)** - это нормативный документ, содержащий совокупность операций и правил, выполнение которых обеспечивает получение необходимых результатов измерения.

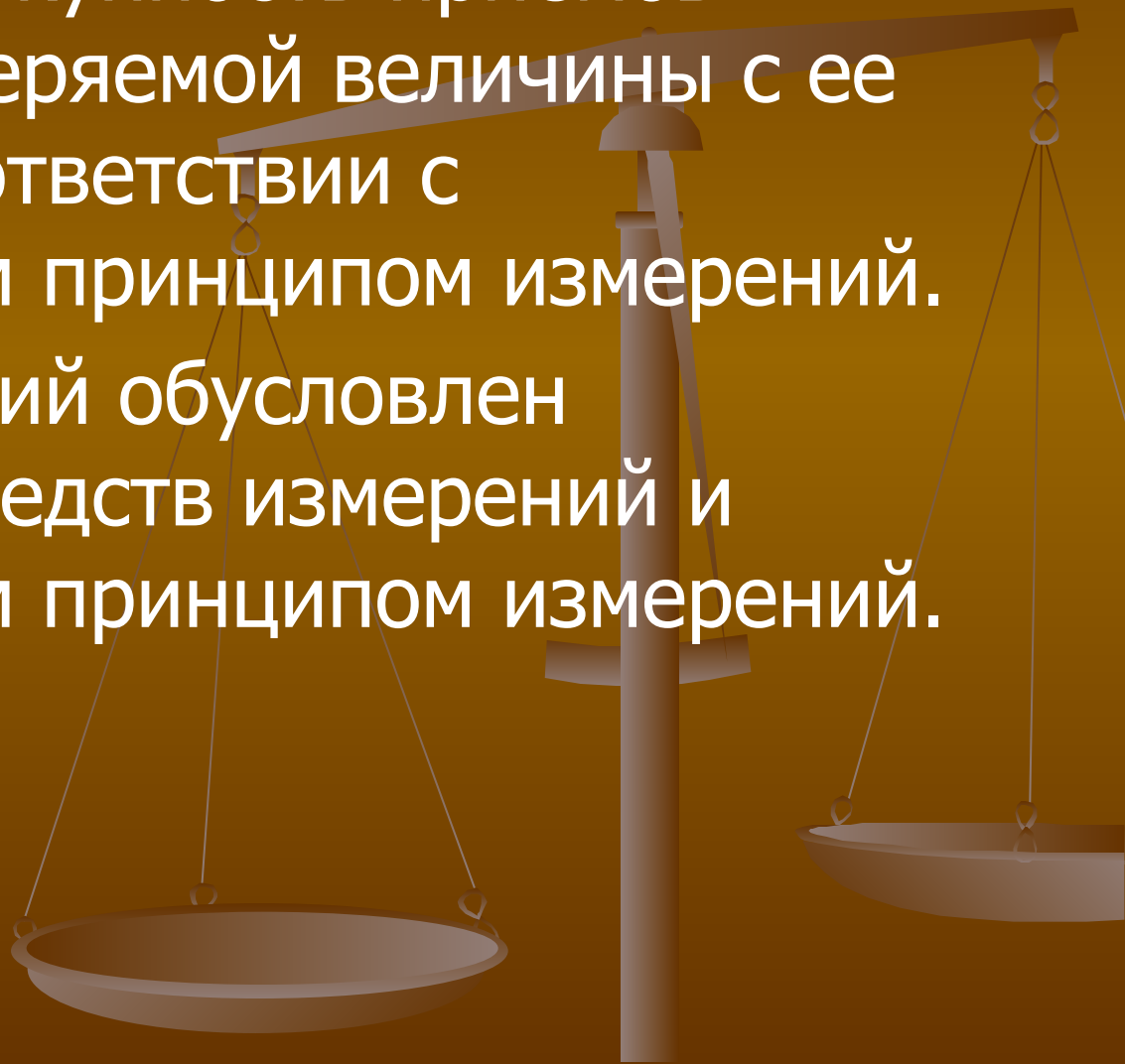


## В МВИ указываются:

- ее назначение и область применения;
- нормы точности;
- метод измерений;
- требования к средствам измерений;
- требования к безопасности;
- условия выполнения измерений;
- операции подготовки к выполнению измерений;
- экспериментальные операции, выполняемые для получения результатов;
- способы обработки результатов и оценки показателей точности измерений;
- требования к оформлению результатов измерений.

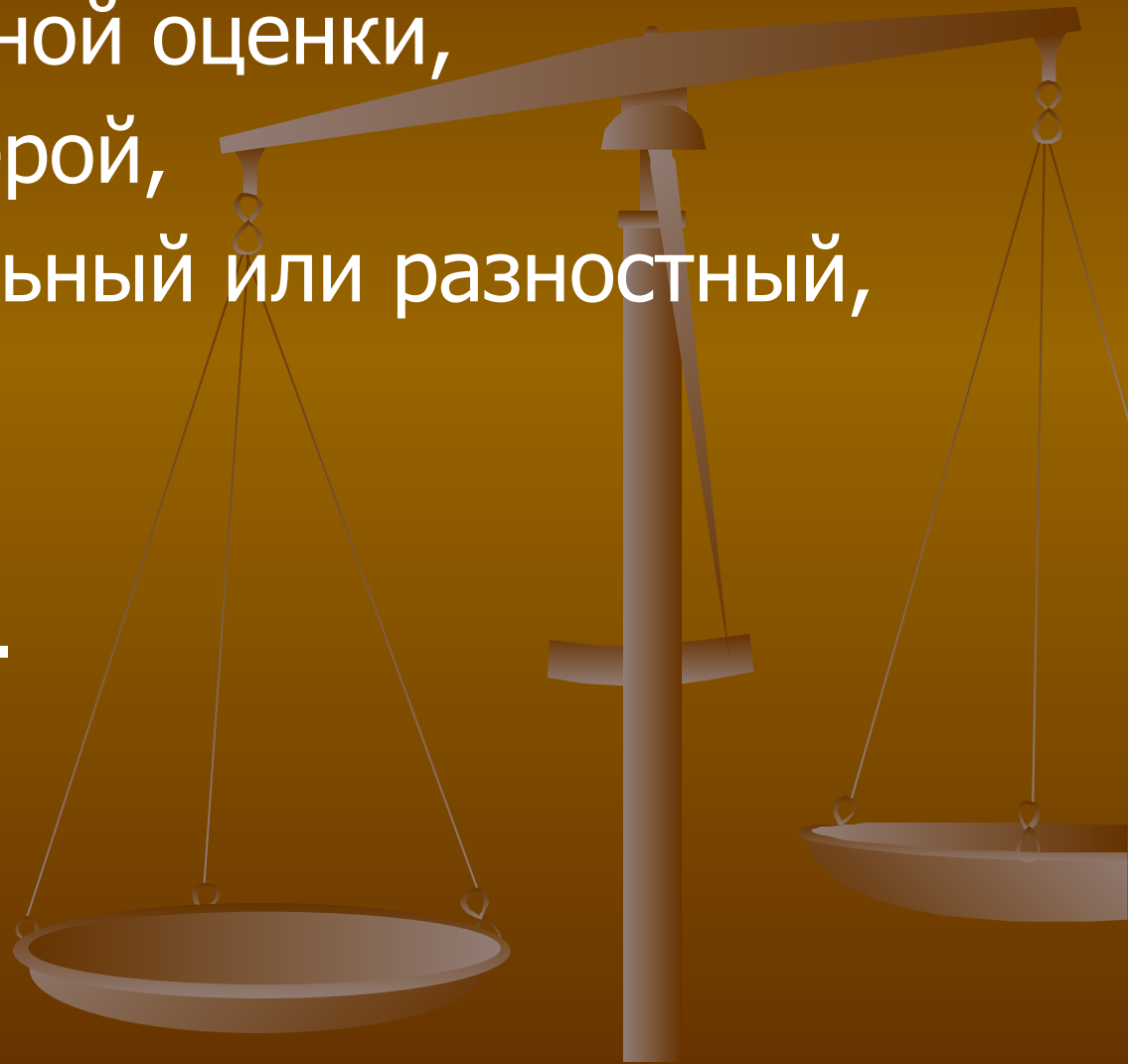


- **Под методом измерения** понимают прием или совокупность приемов сравнения измеряемой величины с ее единицей в соответствии с реализованным принципом измерений.
- Метод измерений обусловлен устройством средств измерений и реализованным принципом измерений.



# Различают несколько основных методов измерений:

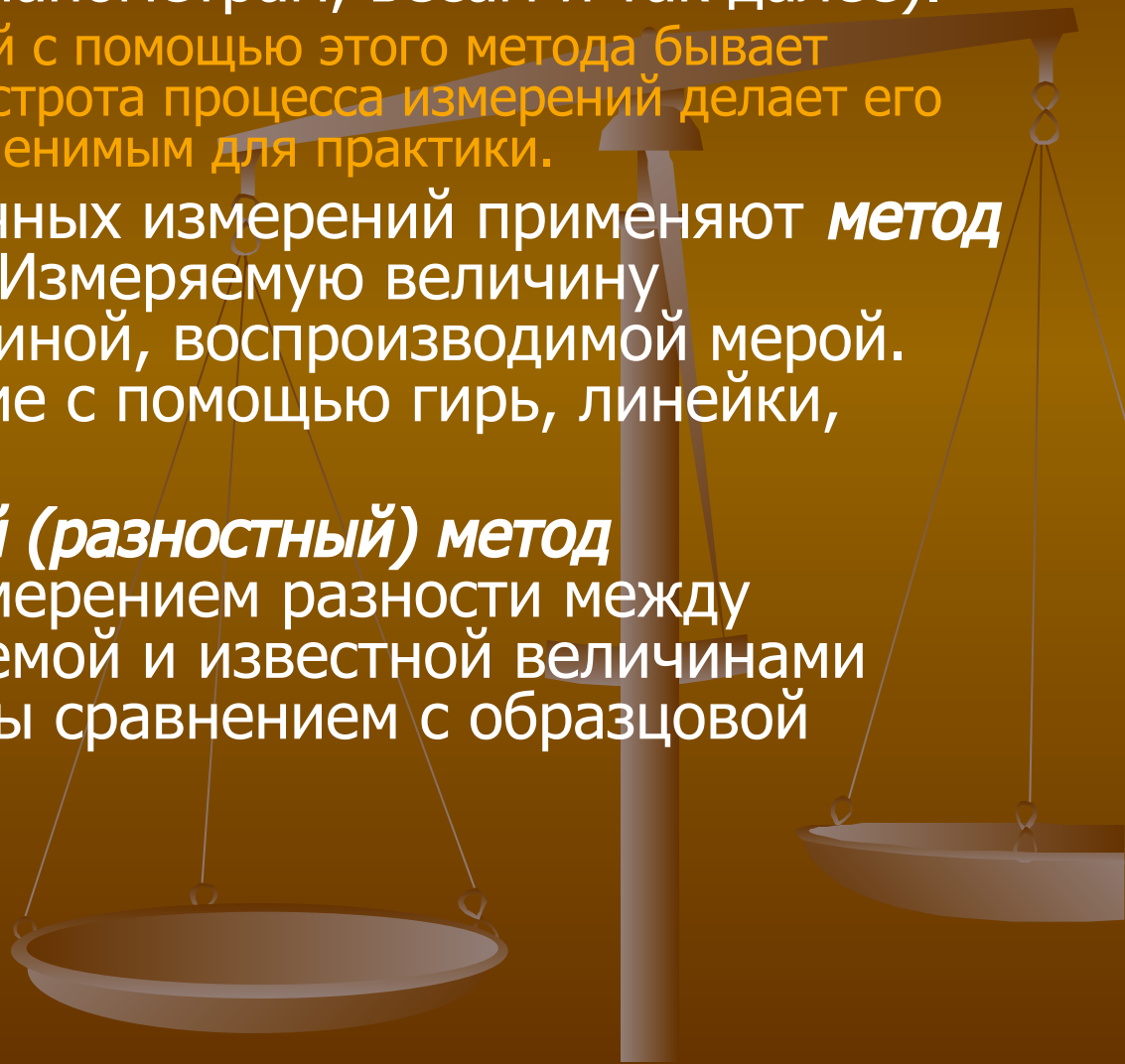
- непосредственной оценки,
- сравнения с мерой,
- дифференциальный или разностный,
- нулевой,
- контактный
- бесконтактный.



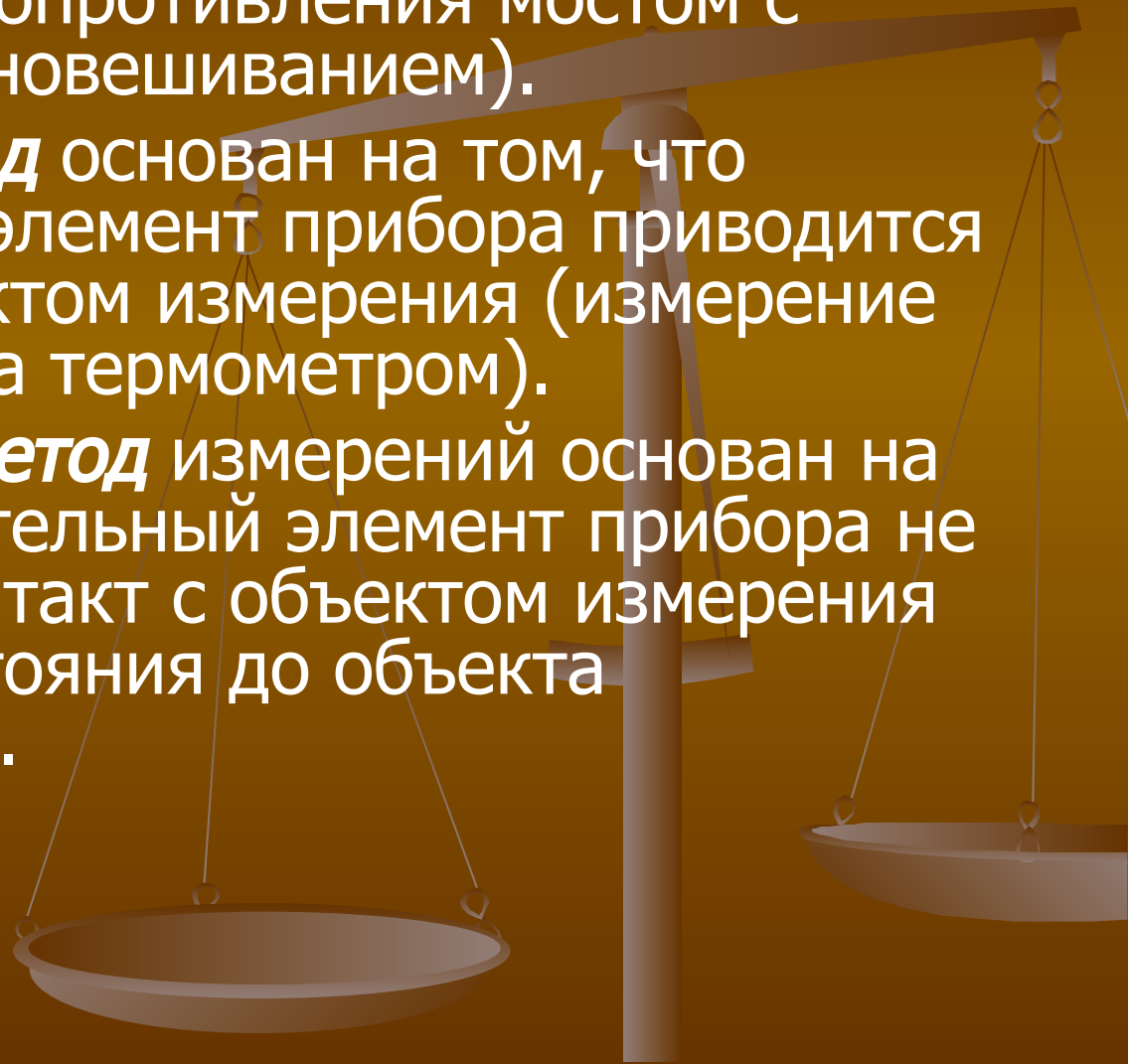
- **Метод непосредственной оценки** дает значение измеряемой величины непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия (манометрам, весам и так далее).

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

- Для выполнения точных измерений применяют **метод сравнения с мерой**. Измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой. Например, измерение с помощью гирь, линейки, бюретки.
- **Дифференциальный (разностный) метод** характеризуется измерением разности между значениями измеряемой и известной величинами (проверка мер длины сравнением с образцовой мерой).



- **Нулевой метод**, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля (измерение электрического сопротивления мостом с полным его уравниванием).
- **Контактный метод** основан на том, что чувствительный элемент прибора приводится в контакт с объектом измерения (измерение температуры тела термометром).
- **Бесконтактный метод** измерений основан на том, что чувствительный элемент прибора не приводится в контакт с объектом измерения (измерение расстояния до объекта радиолокатором).



При выборе метода измерений добиваются, чтобы погрешность метода измерений, то есть **составляющая систематической погрешности измерений**, не сказывалась заметно на результирующей погрешности измерений, то есть **не превышала 30%** от нее. Необходимо также учитывать затраты времени на измерения, экономические затраты.

**Выбор СИ** определяется:

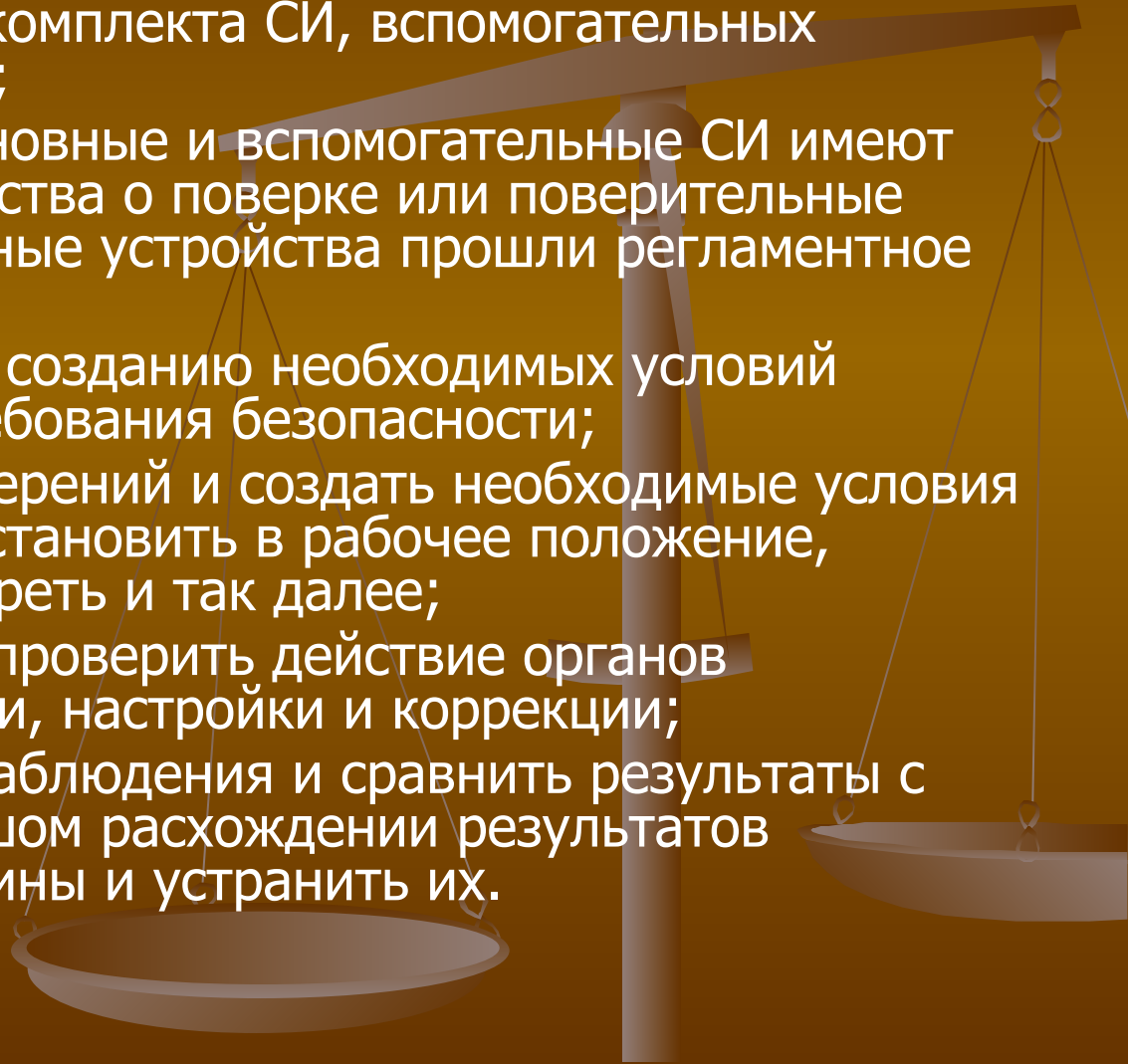
- измеряемой величиной,
- принятым методом измерений
- требуемой точностью результата измерений.

Измерения с применением СИ недостаточной точности малоценны. Применение излишне точных СИ экономически не выгодно. Учитывают также диапазон измерений измеряемой величины, условия измерений, эксплуатационные качества СИ, их стоимость.



## При подготовке к измерениям оператор должен:

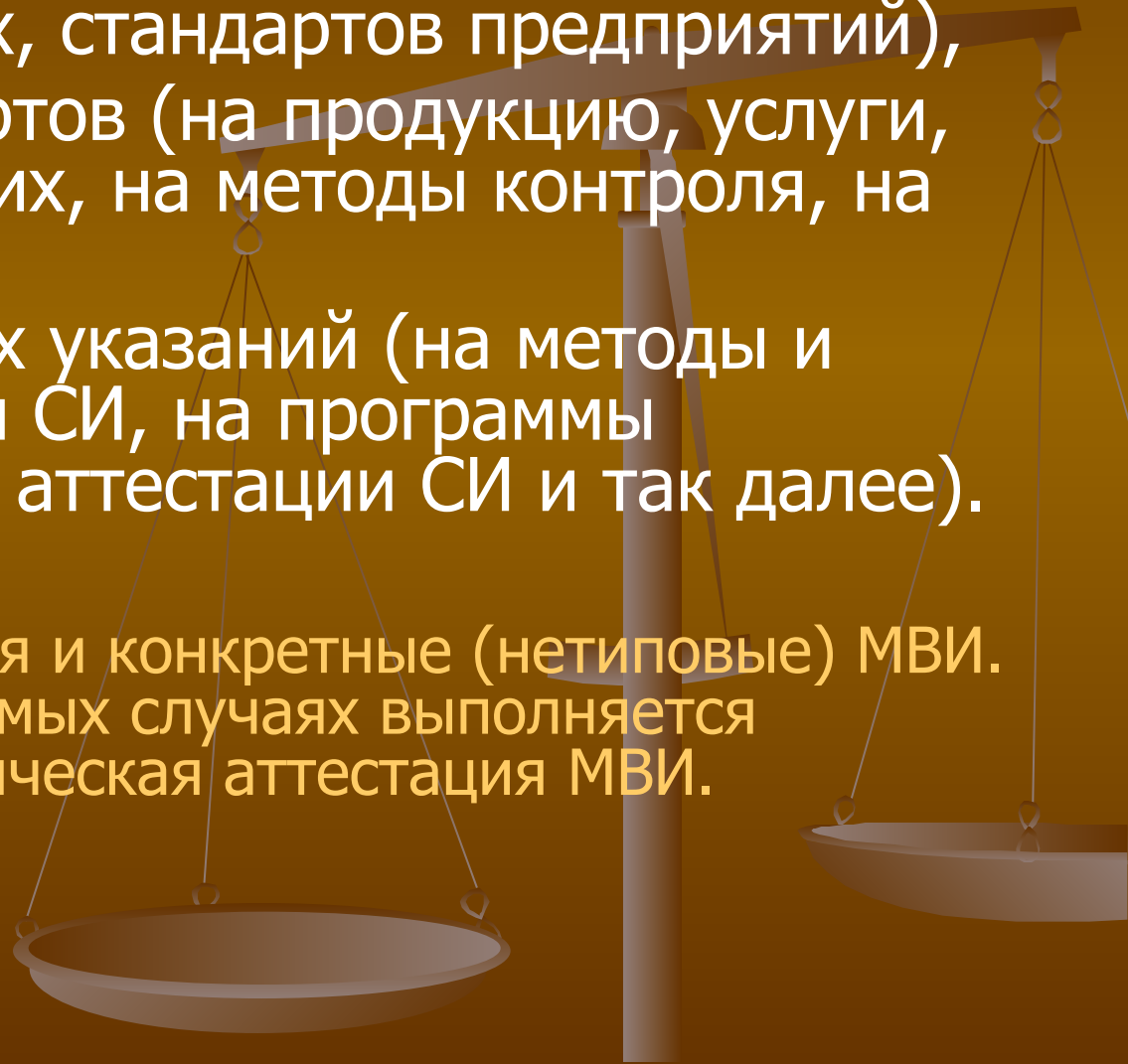
- ознакомиться с методикой выполнения измерений и последовательностью выполнения операций, проверить наличие необходимого комплекта СИ, вспомогательных устройств и материалов;
- убедиться в том, что основные и вспомогательные СИ имеют действующие свидетельства о поверке или поверительные клейма, а вспомогательные устройства прошли регламентное обслуживание;
- выполнить операции по созданию необходимых условий измерений, включая требования безопасности;
- подготовить объект измерений и создать необходимые условия измерений, а именно: установить в рабочее положение, включить питание, прогреть и так далее;
- опробовать СИ, то есть проверить действие органов управления, регулировки, настройки и коррекции;
- провести 2-3 пробных наблюдения и сравнить результаты с ожидаемыми. При большом расхождении результатов проанализировать причины и устранить их.



Как правило, типовые МВИ оформляются в виде:

- стандартов разной категории (государственных, стандартов предприятий),
- разделов стандартов (на продукцию, услуги, основополагающих, на методы контроля, на процессы)
- или методических указаний (на методы и средства поверки СИ, на программы метрологической аттестации СИ и так далее).

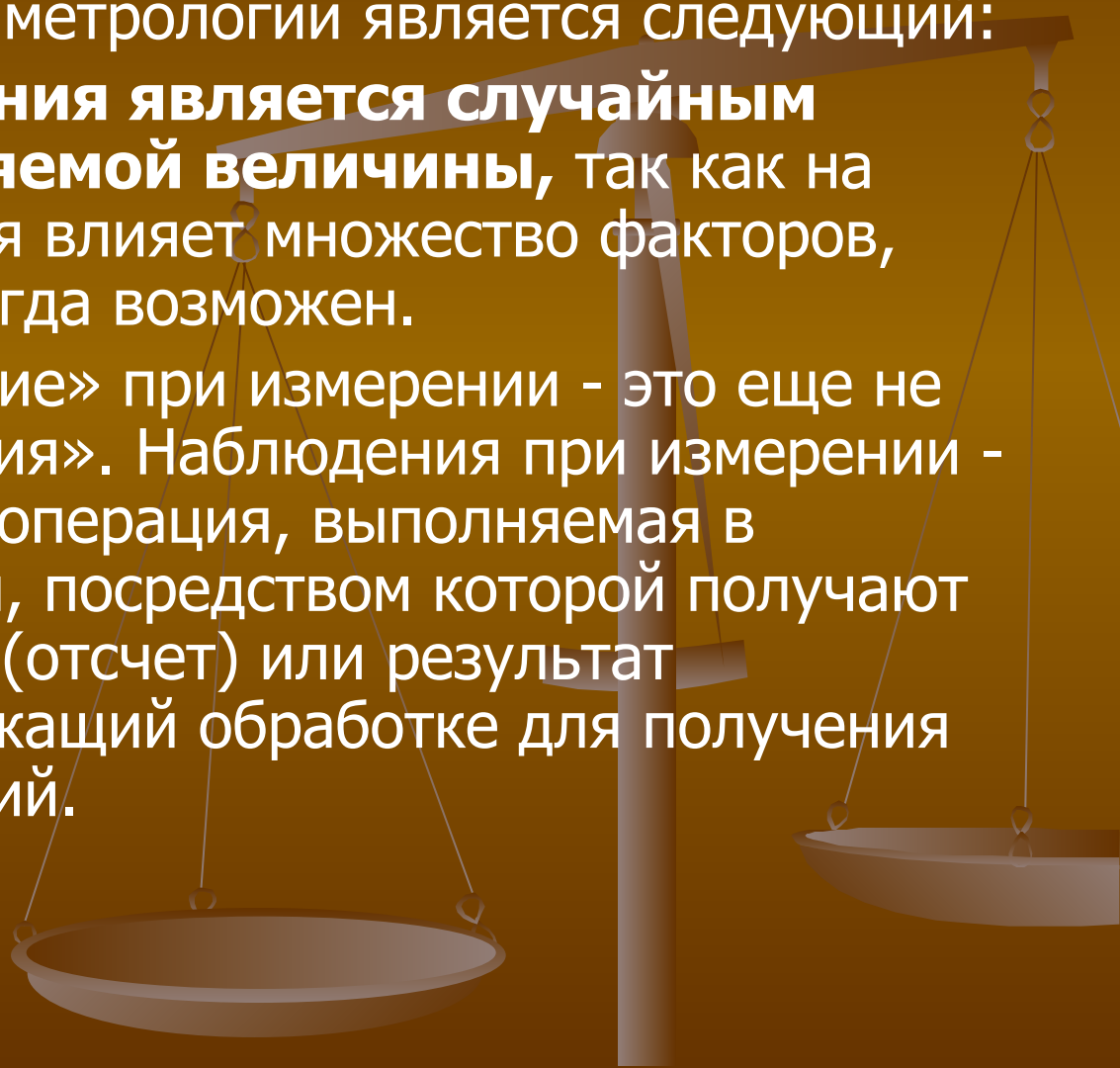
Могут разрабатываться и конкретные (нетиповые) МВИ.  
В необходимых случаях выполняется метрологическая аттестация МВИ.



## 2. Основные понятия теории измерений

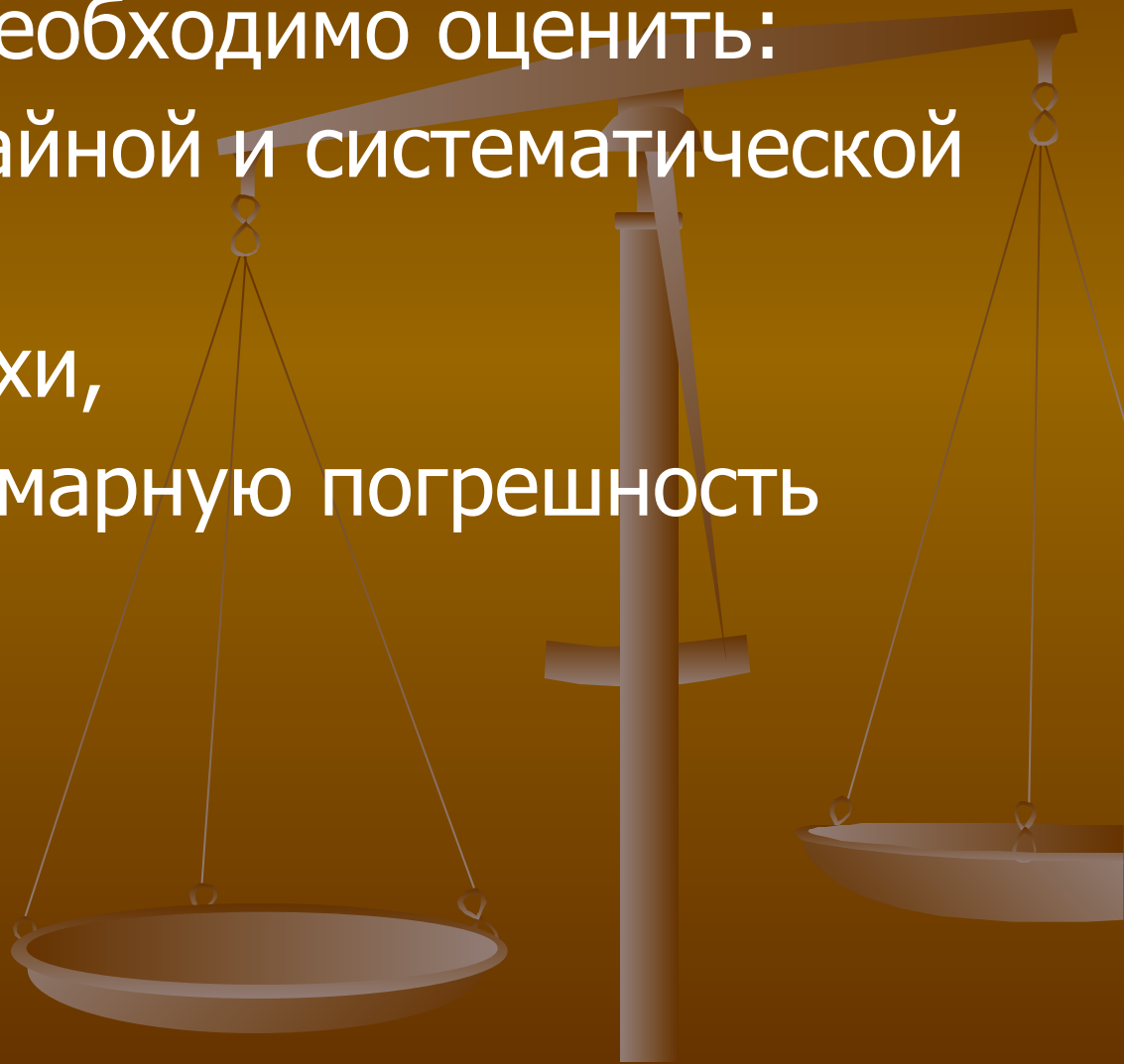
Основным постулатом метрологии является следующий:

- **результат измерения является случайным значением измеряемой величины**, так как на результат измерения влияет множество факторов, учет которых не всегда возможен.
- Понятие «наблюдение» при измерении - это еще не «результат измерения». Наблюдения при измерении - экспериментальная операция, выполняемая в процессе измерений, посредством которой получают значение величины (отсчет) или результат наблюдения, подлежащий обработке для получения результата измерений.



При этом необходимо оценить:

- величину случайной и систематической погрешности,
- выявить промахи,
- рассчитать суммарную погрешность измерения.



***Анализ случайных погрешностей*** основывается на теории случайных ошибок, дающей возможность с определенной гарантией вычислить действительное значение измеренной величины и оценить возможные ошибки.

Основу теории случайных ошибок составляет предположение о том, что результаты наблюдений подчиняются нормальному закону распределения.

При большом числе измерений вероятность появления случайных погрешностей подчиняется нормальному закону симметричности относительно точки, соответствующей максимальной плотности вероятности. Эта точка соответствует истинному значению измеряемой величины.

Мерой рассеяния отдельных результатов является **дисперсия**

$$S^2(X) = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}$$

где  $X_i$  - результаты наблюдений;

$\bar{X}$  - среднеарифметическое результатов наблюдений;  $n$  — число опытов.

Дисперсия есть мера разброса значений случайной величины вокруг ее среднего значения.

- Размерность дисперсии равна квадрату размерности самой величины. Очень часто поэтому используют величину называемую **средним квадратичным отклонением (СКО)**, или просто стандартным отклонением единичного результата.

$$S(X) = \sqrt{S^2(X)}$$

Оценка среднеквадратичного отклонения  
единичного результата равна корню  
квадратному из выборочной дисперсии  
единичного результата

$$S(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

где  $n-1 = \phi$  число степеней свободы, имевшее место при определении дисперсии по  $n$  повторностям (разность между числом независимых переменных и числом уравнений, связывающих эти переменные).



Дисперсия характеризует однородность измерения. Чем выше дисперсия, тем больше разброс измерений. СКО среднеарифметического отклонения среднего результата ( $\bar{X}$ ) из всех  $n$  повторностей определяется по формуле:

$$S(\bar{X}) = \frac{S(X)}{\sqrt{n}}$$

то есть погрешность среднего значения результатов измерений существенно меньше ( $\sqrt{n}$ ) погрешности единичного измерения. Так как дисперсия среднеарифметического результата  $\bar{X}$   $\frac{1}{n}$  раз меньше дисперсии единичного результата, при  $n \rightarrow \infty$

$$S^2(\bar{X}) \rightarrow 0.$$

**Коэффициент вариации** характеризует изменчивость результатов и определяется по следующей формуле:

$$K_V = \frac{S(X)}{\bar{X}}$$

Чем выше  $K_V$ , тем больше изменчивость измерений относительно средних значений. Коэффициент вариации оценивает разброс при оценке нескольких выборок и используется для сравнения точности той или иной серии измерений.

**Доверительной вероятностью** (достоверностью) измерения называется вероятность того, что истинное значение измеряемой величины попадает в данный доверительный интервал.

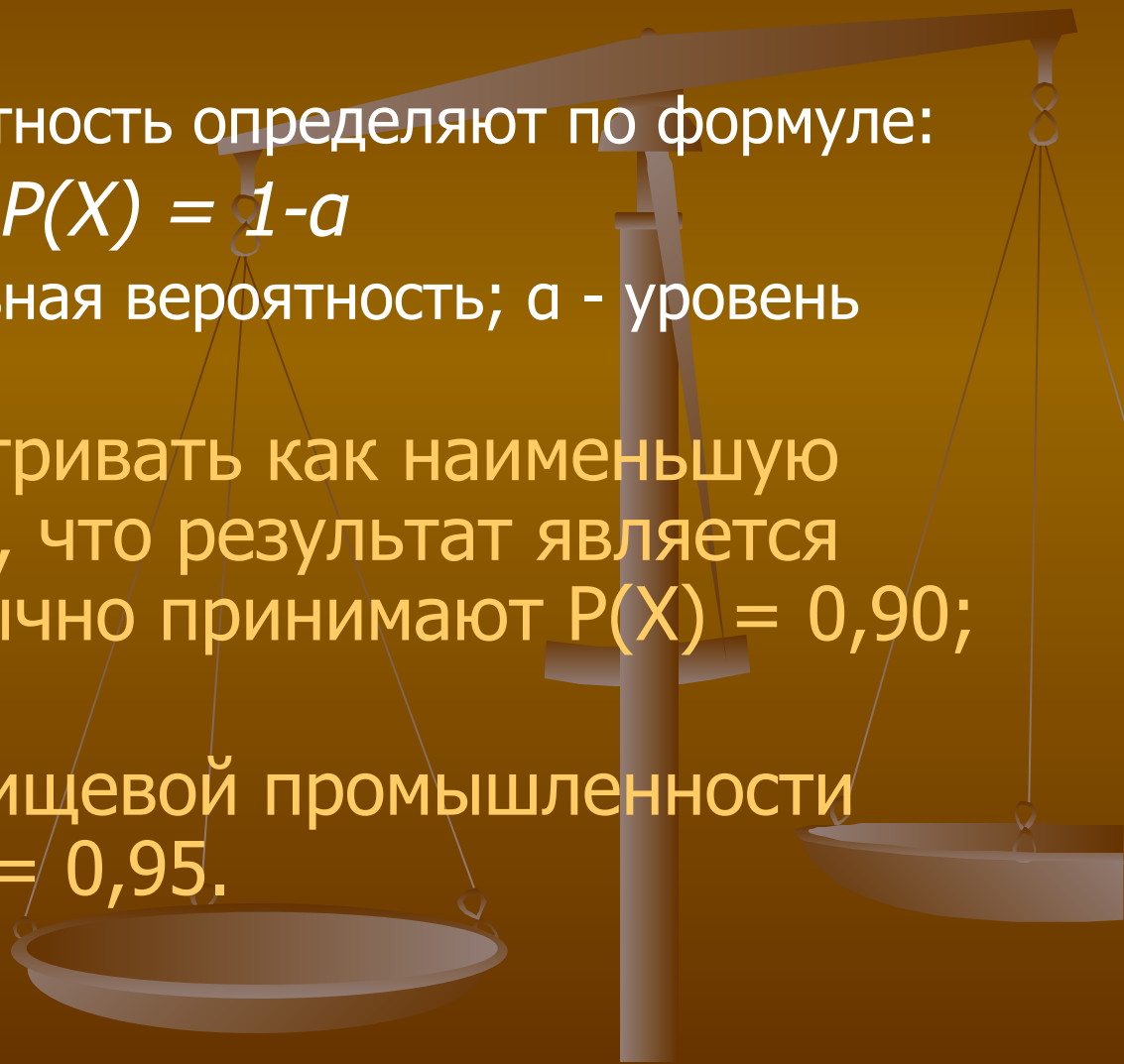
Доверительную вероятность определяют по формуле:

$$P(X) = 1 - \alpha$$

где  $P(X)$  — доверительная вероятность;  $\alpha$  - уровень значимости.

$P(X)$  можно рассматривать как наименьшую вероятность того, что результат является правильным. Обычно принимают  $P(X) = 0,90$ ;  $0,95$ ;  $0,99$ .

Для измерений в пищевой промышленности используют  $P(X) = 0,95$ .



**Уровень значимости ( $\alpha$ )** - нижний предел для вероятности, за которым лежат статистически незначимые ее значения.

Так, например, вероятность меньшую, чем 0,95 называют незначимой, если в пяти или меньшем числе случаев из ста вывод не подтверждается.

**Определение грубых ошибок («промахов»)** основано на определении отклонения  $V_n$  предполагаемого промаха  $X_i$ , от среднего результата по формуле:

$$V_n = |X_i - \bar{X}|$$

По числу наблюдений ( $n$ ) и принятому  $P(X)$  находят по таблице1 величину  $Z(P, n)$  - нормированное выборочное отклонение нормального распределения.

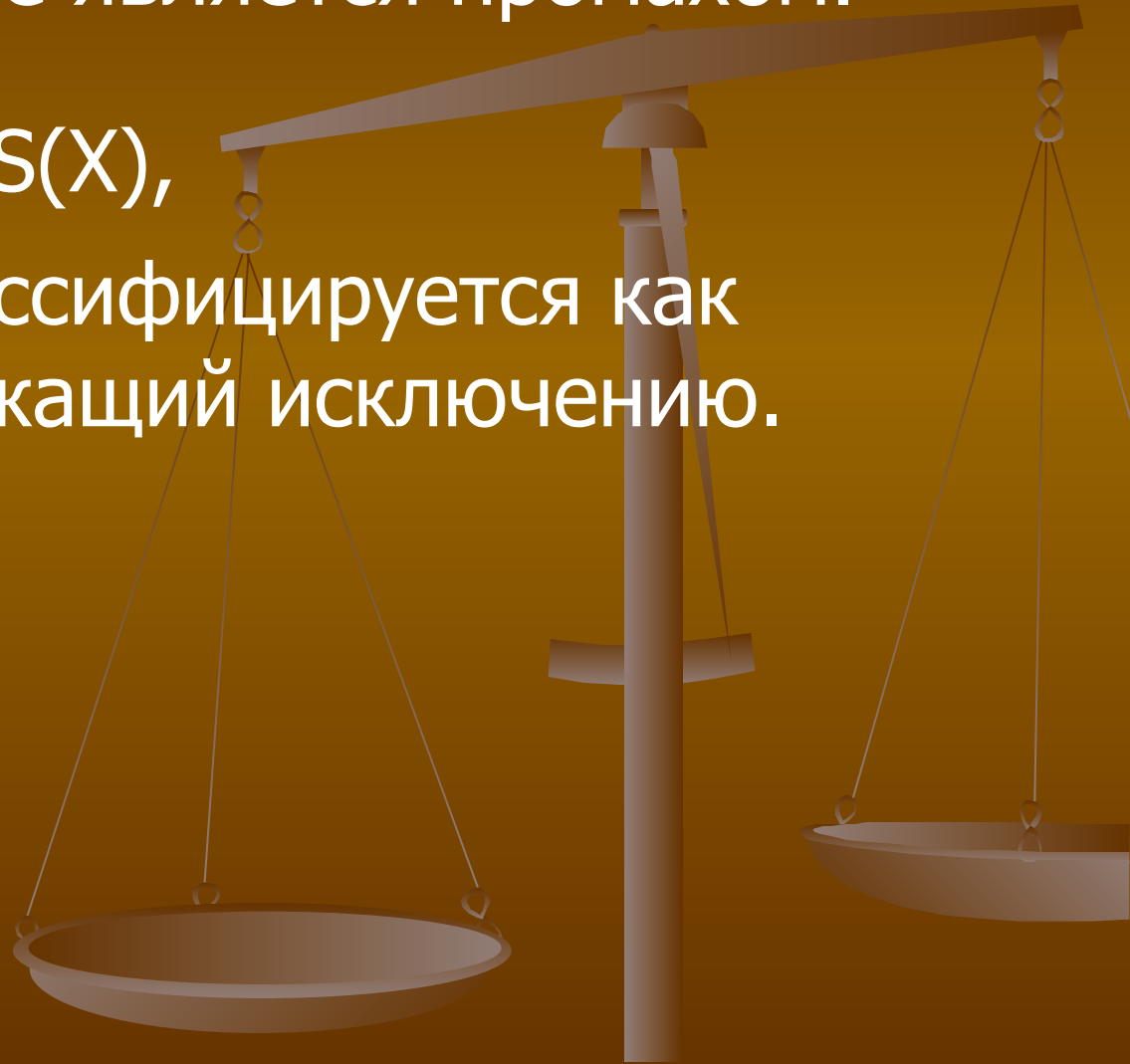
# Таблица 1

Значения нормированного выборочного отклонения нормального распределения  $Z(P,n)$  в зависимости от числа наблюдений  $n$ .

$n$	Значения $Z(P,n)$ при $P(X) = 0,95$
3	1,414
4	1,710
5	1,917
6	2,067
7	2,187
8	2,273
9	2,349
10	2,414
12	2,519
14	2,602
16	2,670

Если  $V_n < Z(P, n)S(X)$ ,  
то наблюдение не является промахом.

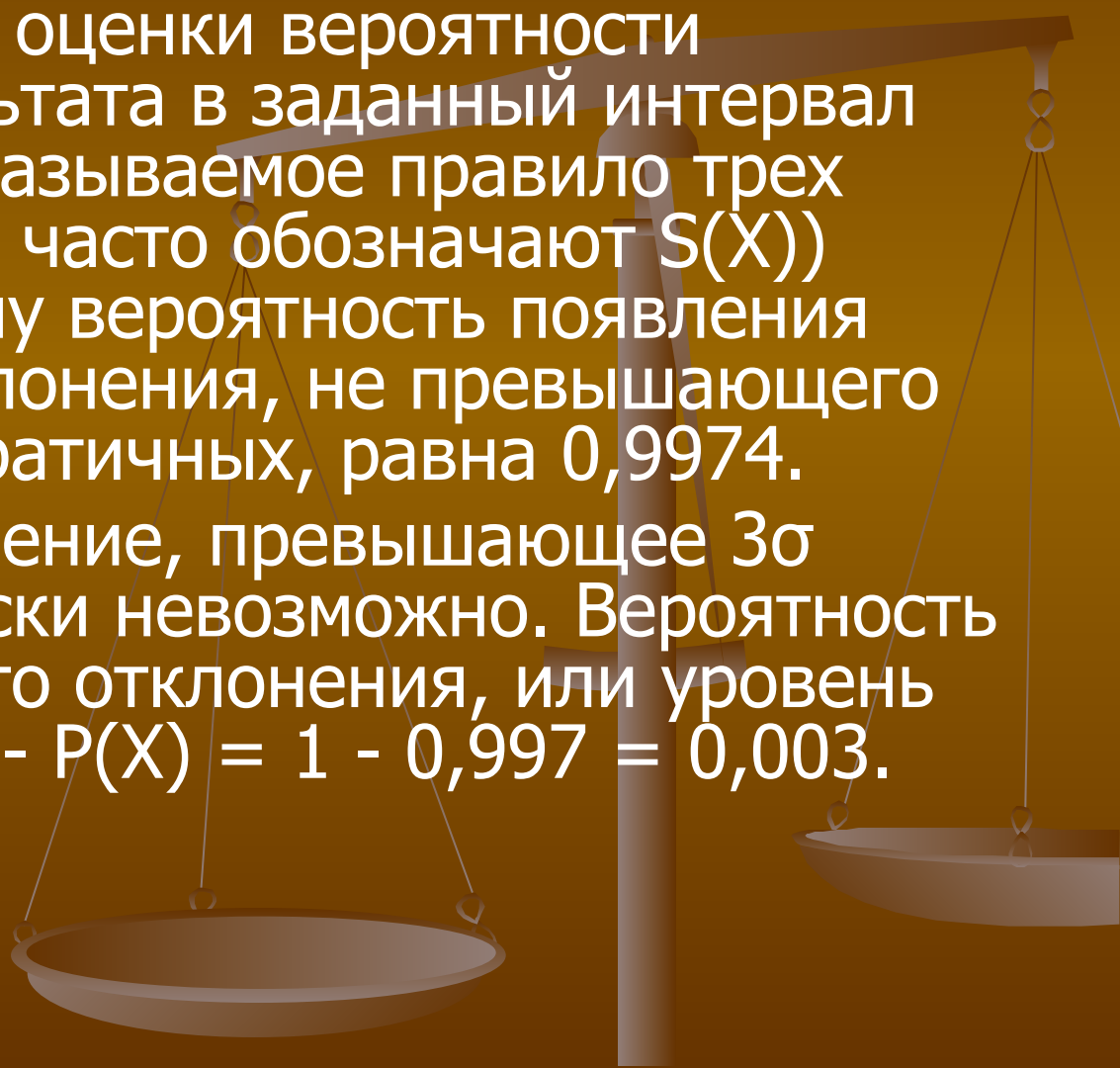
Если  $V_n > Z(P, n)S(X)$ ,  
то результат классифицируется как  
промах, подлежащий исключению.



После исключения промахов повторяют расчет и  $S(X)$  для оставшихся результатов и проверяют на промах наибольшее из оставшихся отклонений от нового .

Для приближенной оценки вероятности попадания результата в заданный интервал используют так называемое правило трех сигм (знаком « $\sigma$ » часто обозначают  $S(X)$ ) согласно которому вероятность появления абсолютного отклонения, не превышающего трех среднеквадратичных, равна 0,9974.

Абсолютное отклонение, превышающее  $3\sigma$  ( $3S(X)$ ) практически невозможно. Вероятность проявления такого отклонения, или уровень значимости  $\alpha = 1 - P(X) = 1 - 0,997 = 0,003$ .



**Доверительным интервалом** называется интервал значений, в который попадает истинное значение измеряемой величины с заданной доверительной вероятностью. Для определения доверительного интервала случайной погрешности единичного  $X_i$  и среднего результатов используется критерий Стьюдента  $t(P, n)$ :

$$\in(X) = t(P, n)S(X)$$

$$\in(\bar{X}) = t(P, n)S(X),$$

где  $t(P, n)$  — критерий Стьюдента (принимается из таблиц 2 в зависимости от доверительной вероятности  $P$  и числа наблюдений).



## Таблица 2

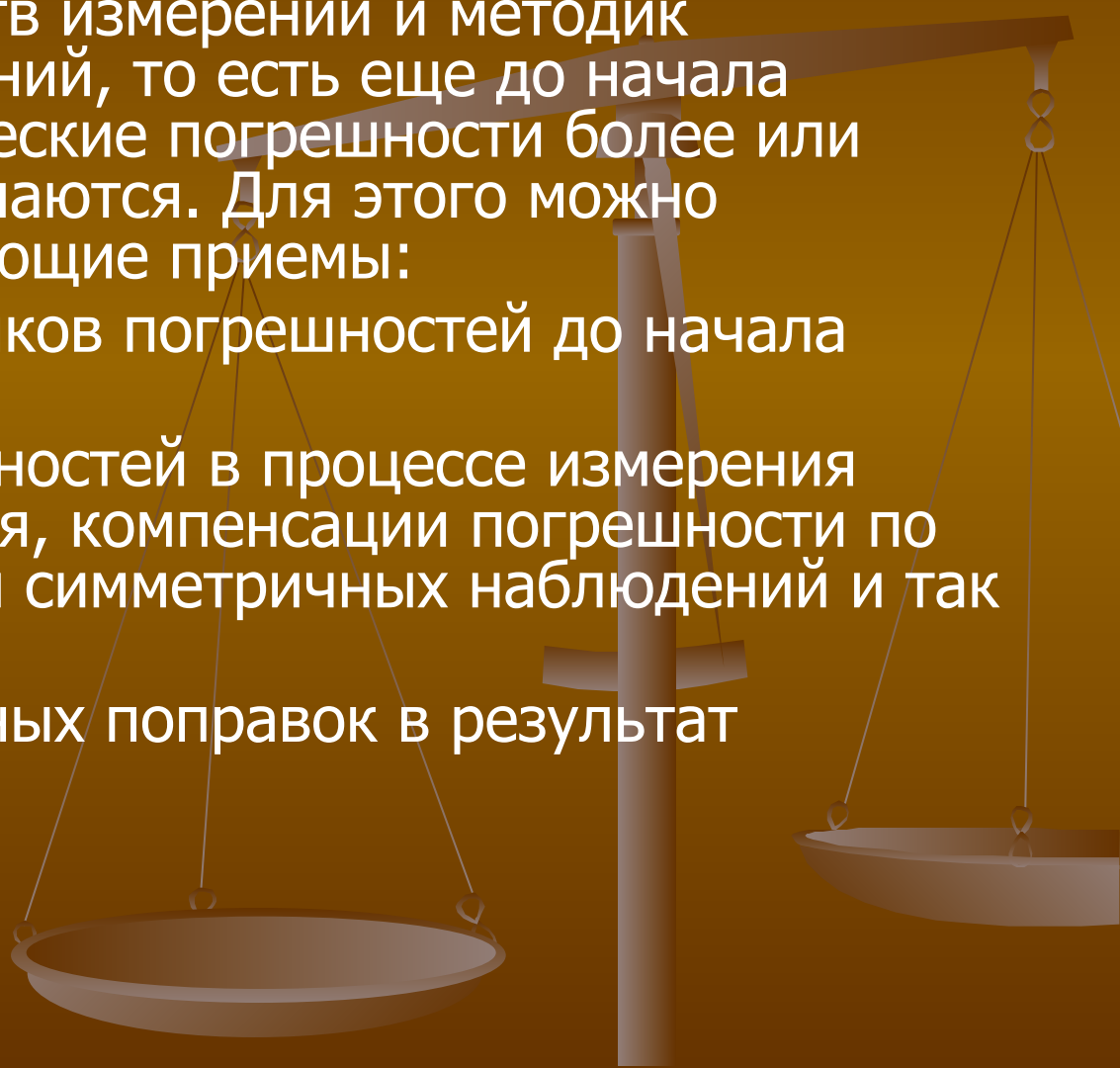
Значения критерия Стьюдента для доверительной вероятности  $P(X)=0,95$  в зависимости от числа наблюдений  $n$ .

$n$	Значения $t(P,n)$ при $P(X) = 0,95$
2	12,706
3	4,303
4	3,182
5	2,776
6	2,571
7	2,447
8	2,365
9	2,306
10	2,262
11	2,145

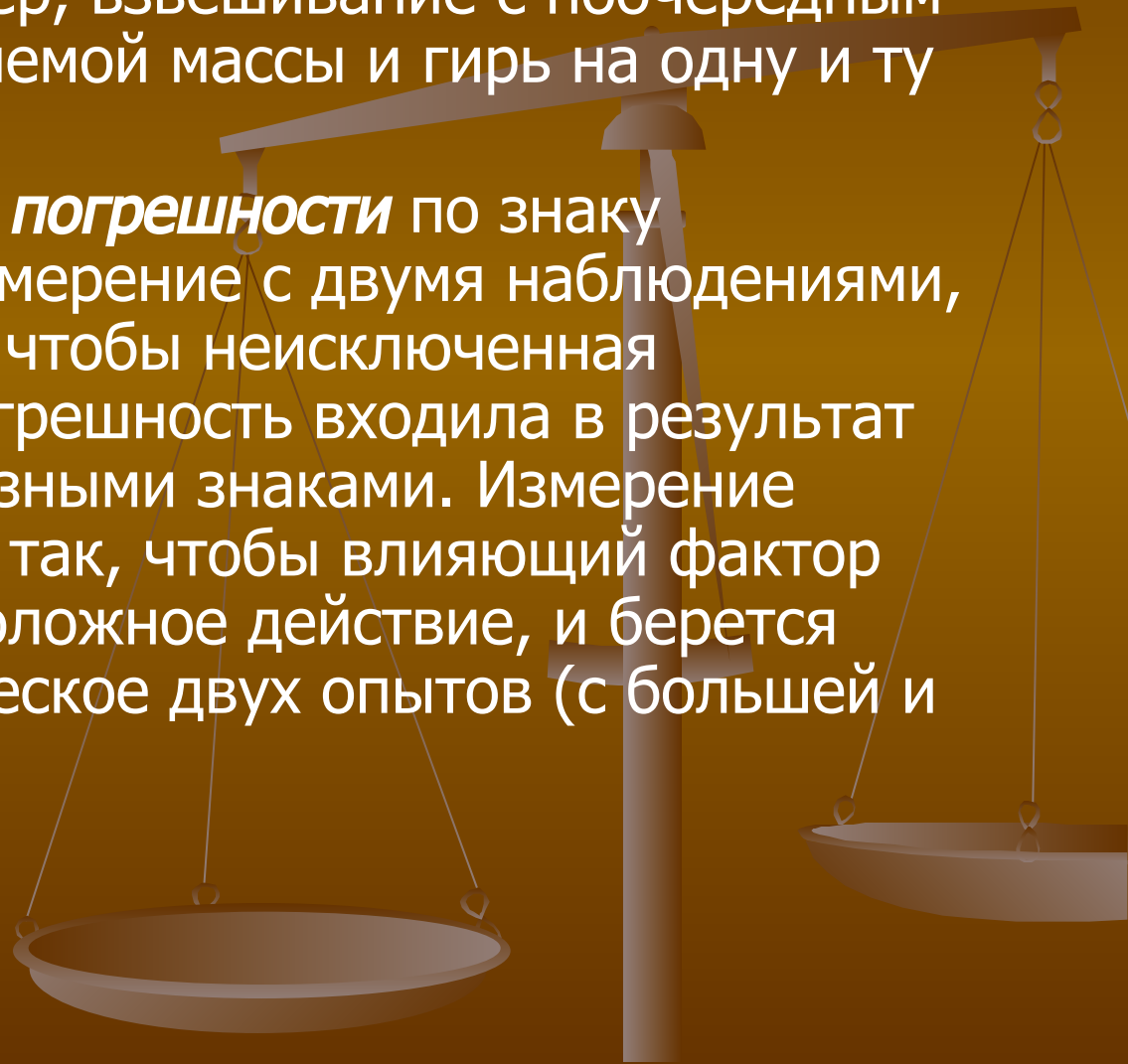
***Систематические погрешности*** не проявляются при выполнении наблюдений и вычислении результатов измерений, но способны существенно исказить эти результаты.

При разработке средств измерений и методик выполнения измерений, то есть еще до начала работы, систематические погрешности более или менее полно исключаются. Для этого можно использовать следующие приемы:

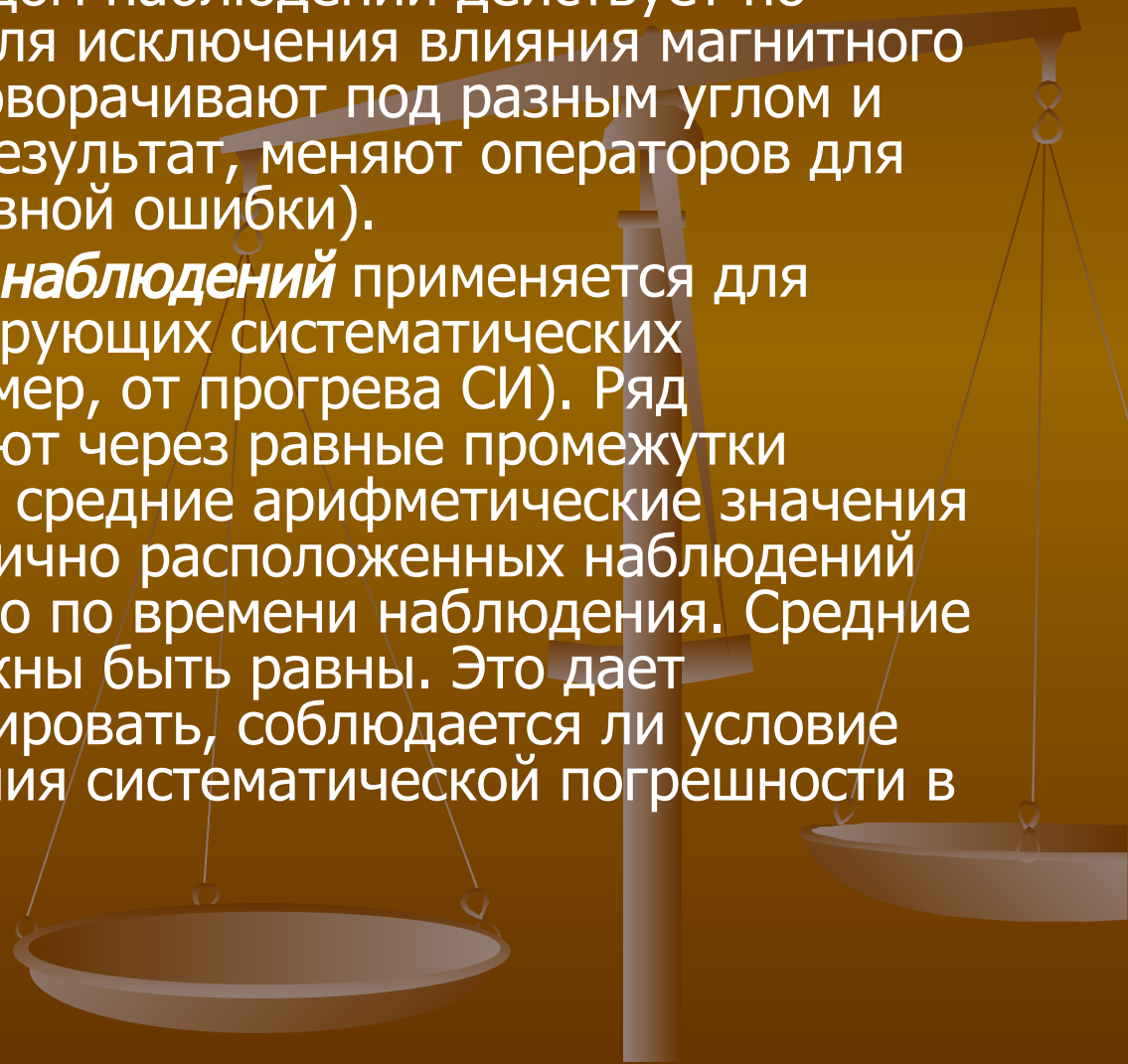
- ликвидация источников погрешностей до начала измерений;
- исключение погрешностей в процессе измерения методами замещения, компенсации погрешности по знаку рандомизации симметричных наблюдений и так далее;
- внесения вычисленных поправок в результат измерения.



- **Метод замещения.** Его суть - замена измеряемой величины известной (мерой) так, чтобы при этом в действии всех СИ не происходило никаких изменений. Например, взвешивание с поочередным помещением измеряемой массы и гирь на одну и ту же чашку весов.
- **Метод компенсации погрешности** по знаку предусматривает измерение с двумя наблюдениями, выполняемыми так, чтобы неисключенная систематическая погрешность входила в результат каждого из них с разными знаками. Измерение проводится дважды так, чтобы влияющий фактор оказывал противоположное действие, и берется среднее арифметическое двух опытов (с большей и меньшей стороны).



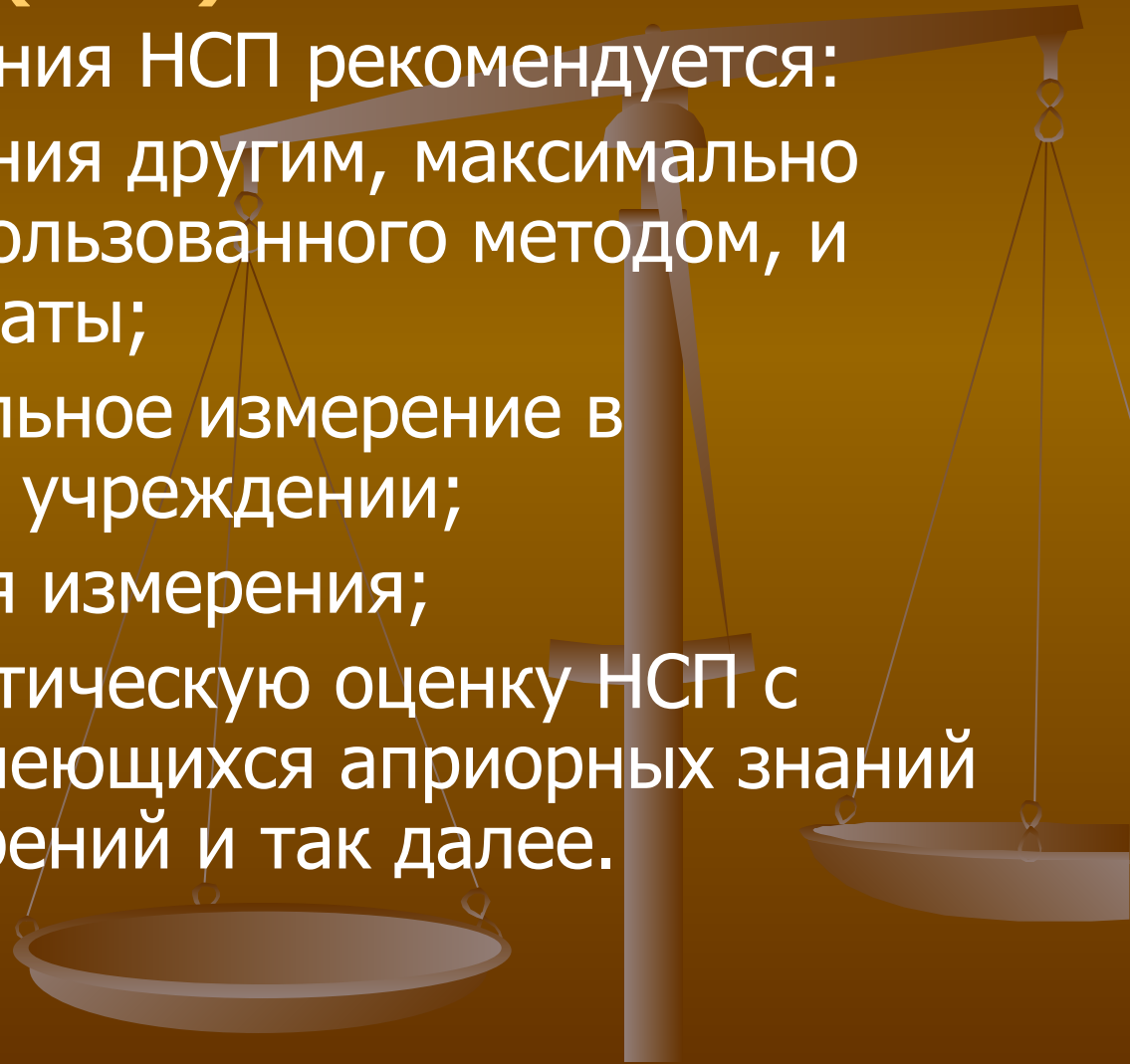
- **Метод рандомизации** (перевода систематической погрешности в случайную) заключается в такой организации измерений, при которой фактор, вызывающий неисключенную систематическую погрешность при каждом наблюдении действует по разному (например, для исключения влияния магнитного поля земли прибор поворачивают под разным углом и вычисляют средний результат, меняют операторов для исключения субъективной ошибки).
- **Метод симметричных наблюдений** применяется для устранения прогрессирующих систематических погрешностей (например, от прогрева СИ). Ряд наблюдений выполняют через равные промежутки времени и вычисляют средние арифметические значения результатов, симметрично расположенных наблюдений относительно среднего по времени наблюдения. Средние арифметические должны быть равны. Это дает возможность контролировать, соблюдается ли условие линейности возрастания систематической погрешности в ходе измерения.



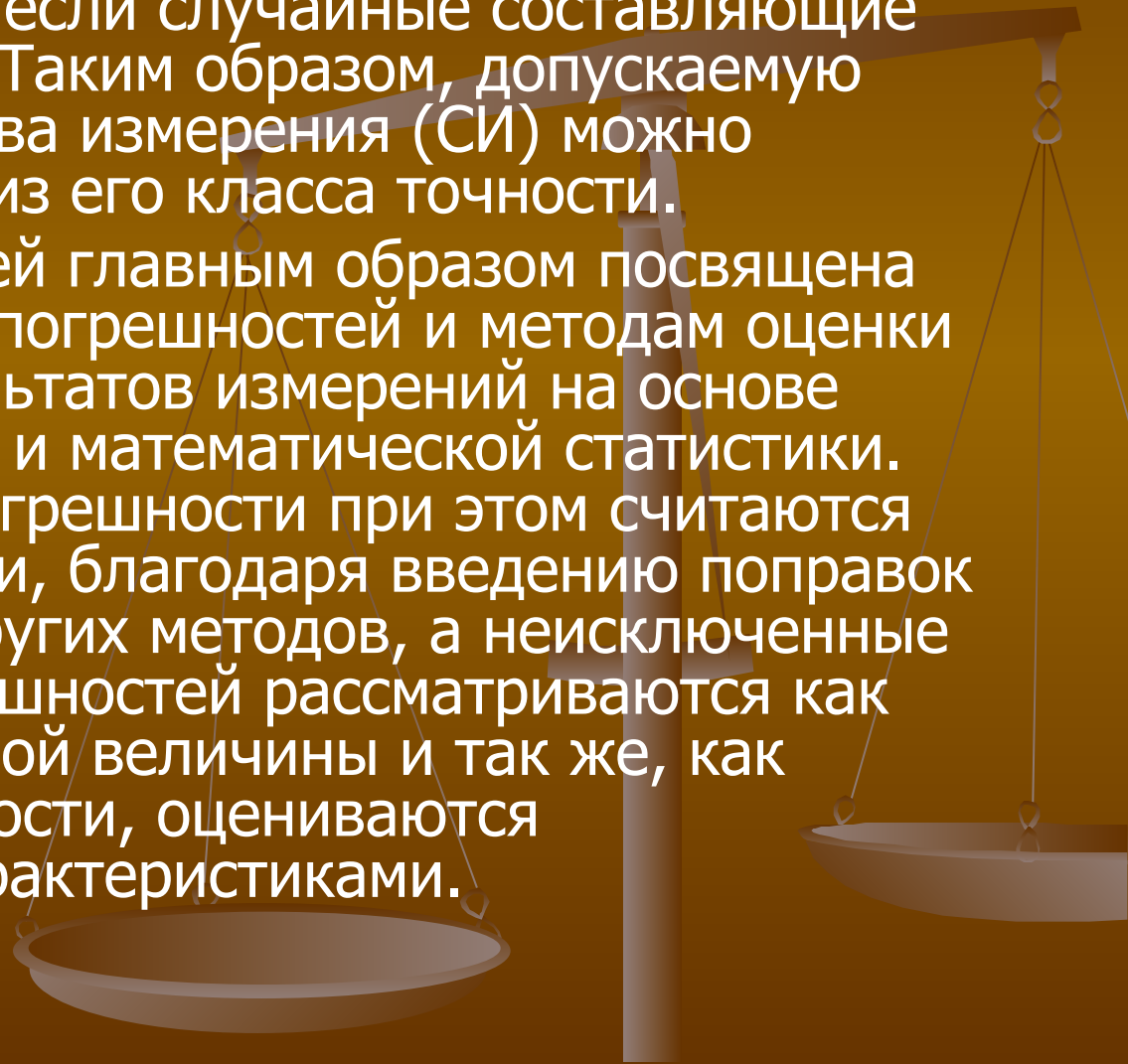
При оценке результатов измерений имеют дело с остатками систематических погрешностей, то есть **неисключенной систематической погрешностью (НСП)**.

Для обнаружения НСП рекомендуется:

- провести измерения другим, максимально отличным от использованного методом, и сравнить результаты;
- провести контрольное измерение в метрологическом учреждении;
- изменить условия измерения;
- выполнить теоретическую оценку НСП с привлечением имеющихся априорных знаний об объекте измерений и так далее.



- НСП образуется из составляющих, в качестве которых могут быть НСП метода, средства измерения и так далее. В качестве границ НСП принимают, например, пределы допускаемых погрешностей средств измерений, если случайные составляющие погрешности малы. Таким образом, допускаемую погрешность средства измерения (СИ) можно рассчитать, исходя из его класса точности.
- Теория погрешностей главным образом посвящена анализу случайных погрешностей и методам оценки погрешностей результатов измерений на основе теории вероятности и математической статистики. Систематические погрешности при этом считаются скорректированными, благодаря введению поправок и использованию других методов, а неисключенные остатки таких погрешностей рассматриваются как реализация случайной величины и так же, как случайные погрешности, оцениваются вероятностными характеристиками.



# Спасибо за внимание!

к.с.-х.н., доцент Горькова Ирина  
Вячеславовна

E-mail: [laboratory2@orelsau.ru](mailto:laboratory2@orelsau.ru)

