

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ.
НЕОПРЕДЕЛЁННОСТЬ В
ИЗМЕРЕНИЯХ

Цитович Борис Васильевич

boris_cito@mail.ru

Единство измерений

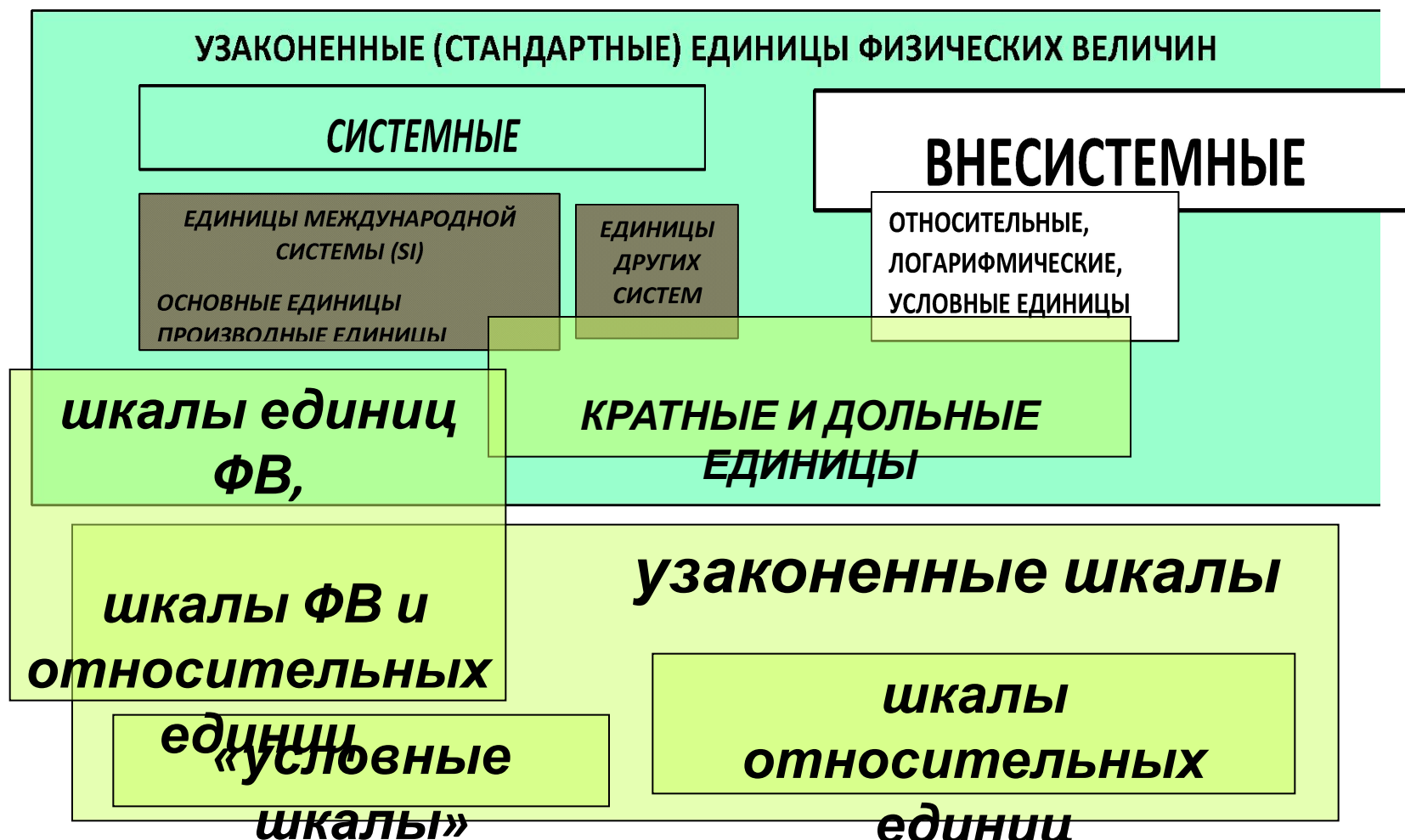
Из РМГ 29

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах величин **или в значениях по установленным шкалам измерений**, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы

Из Закона РБ

Единство измерений – состояние измерений, при котором результаты этих измерений выражены **в допущенных к применению в Республике Беларусь единицах величин, обеспечена метрологическая прослеживаемость**, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы **с заданной вероятностью**

УЗАКОНЕННЫЕ ЕДИНИЦЫ ФИЗИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН И ШКАЛЫ



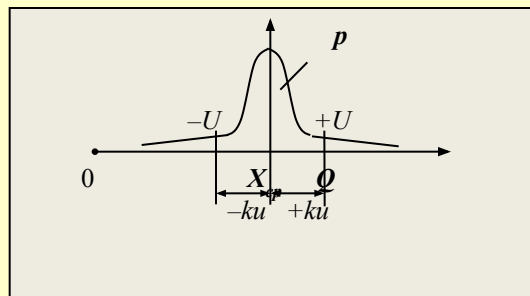
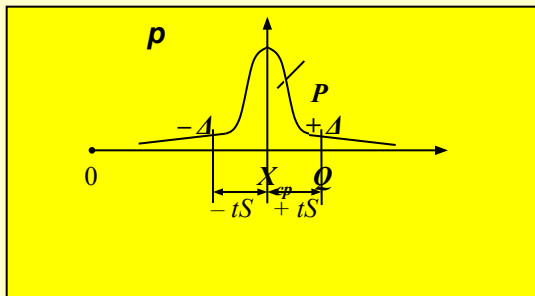
Результаты обеспечения единства измерений

РЕЗУЛЬТАТ ИЗМЕРЕНИЙ в сфере законодательной метрологии

$X_{cp} \pm \Delta; P$ или $X_{cp} \pm U; p$ (для различающихся подходов к оценке точности)

$X_{cp} = 27,358 \text{ г}$
точечная оценка в
узаконенных единицах

$\pm 0,012 \text{ г}; P = 0,95$
оценка точности измерений при доверительной вероятности
 $P = 0,95$ $\Delta = tS$ – альтернативная оценка $U = ku$



Требования нормированного представления результатов измерений

ГОСТ 8.207

ГОСТ 8.010

МИ 1317

«Руководство»

другие

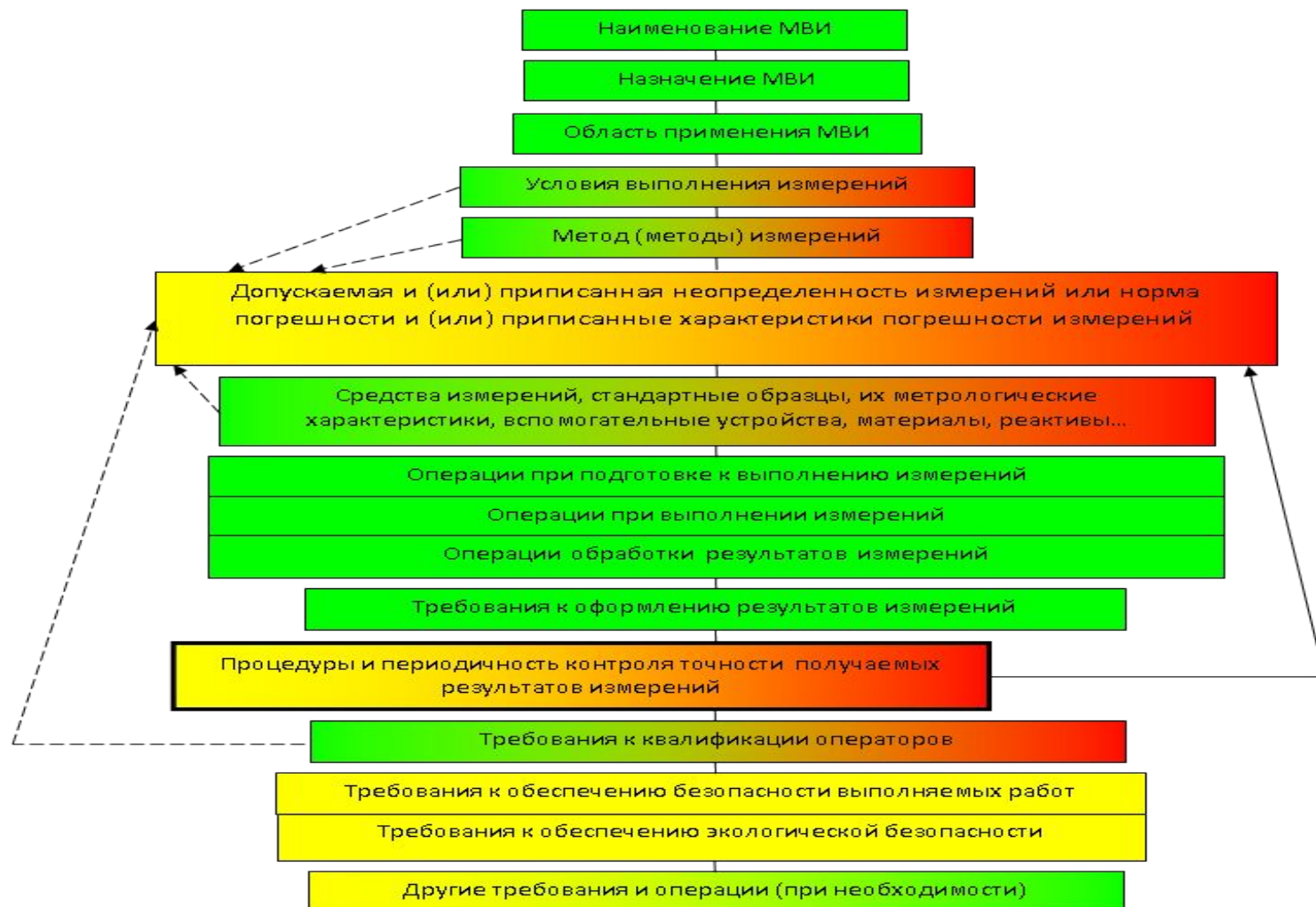
графическая интерпретация результата измерений

(аппроксимация нормальным распределением)

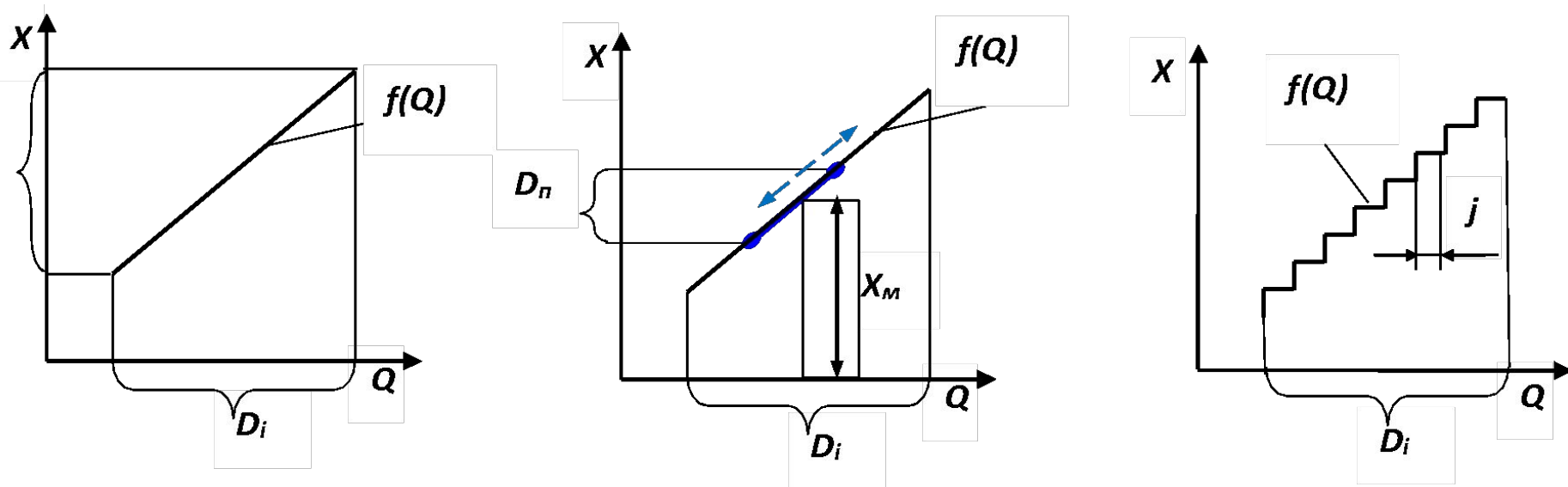
ФОРМЫ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ (ПРИМЕРЫ)

1. $(8,334 \pm 0,012)$ г; $P = 0,95$.
2. 32,014 мм. Характеристики погрешностей и условия измерений по РД 50-98 – 86, вариант 7к.
3. $(32,010 \dots 32,018)$ мм; $P = 0,95$. Измерение индикатором ИЧ 10 класса точности 0 на стандартной стойке с настройкой по концевым мерам длины 3 класса точности. Измерительное перемещение не более 0,1 мм; температурный режим измерений ± 2 °С.
4. 72,6360 мм; $\Delta_{\text{Н}} = -0,0012$ мм, $\Delta_{\text{В}} = +0,0018$ мм, Релей; $P = 0,95$.
5. $10,75$ м³/с; $\sigma(\Delta) = 0,11$ м³/с, $\sigma(\Delta_c) = 0,18$ м³/с, равн. Условия измерений: температура среды 20 °С, кинематическая вязкость измеряемого объекта $1,5 \cdot 10^{-6}$ м²/с.

Структура МВИ по ГОСТ 8.010



Измерение как сопоставление измеряемого свойства со шкалой, определяющей уровень его интенсивности



□ *a*

б

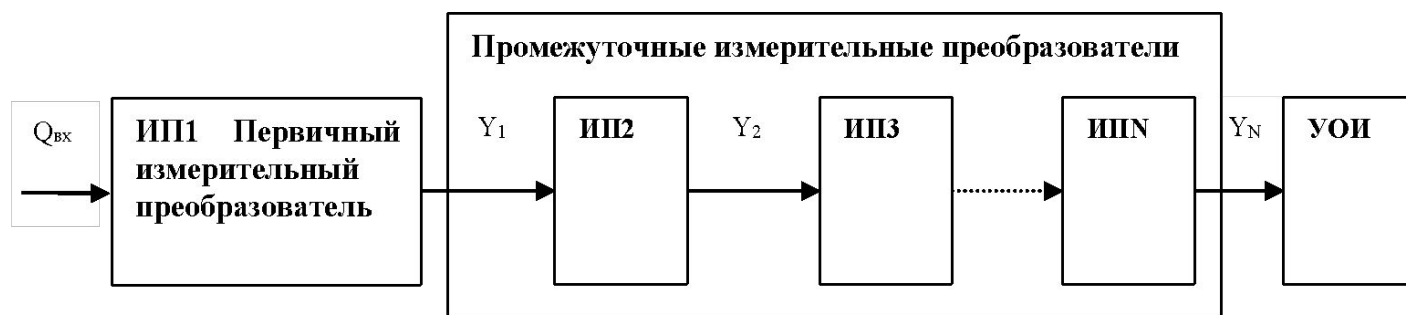
в

Функции преобразования измерительных приборов

a – аналоговых с широким диапазоном показаний; *б* – аналоговых с узким диапазоном показаний; *в* – дискретных («цифровые приборы»).

D_i – диапазон измерений; D_n – диапазон показаний; X_m – величина, воспроизводимая мерой; j – номинальная ступень квантования

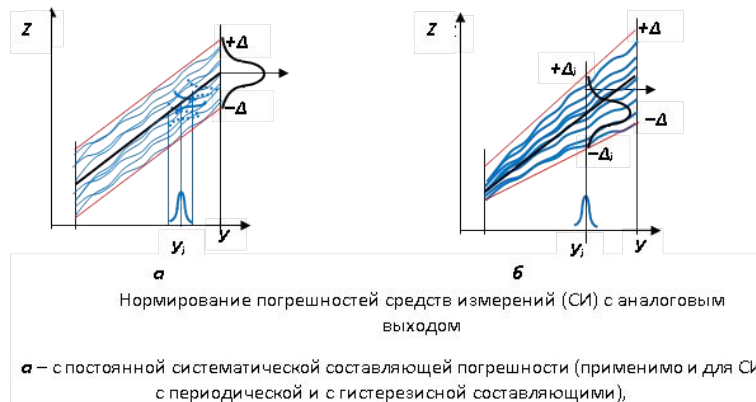
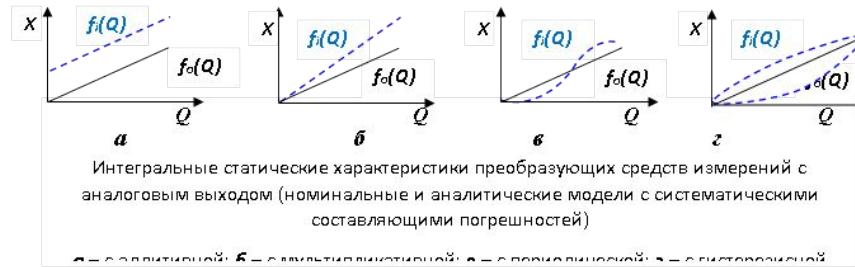
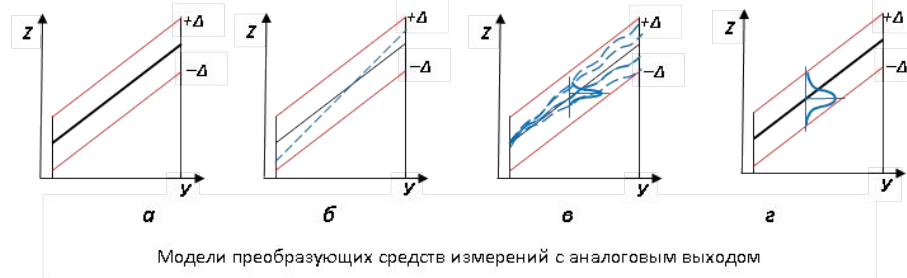
Получение и преобразование сигнала измерительной информации (измерительное преобразование)



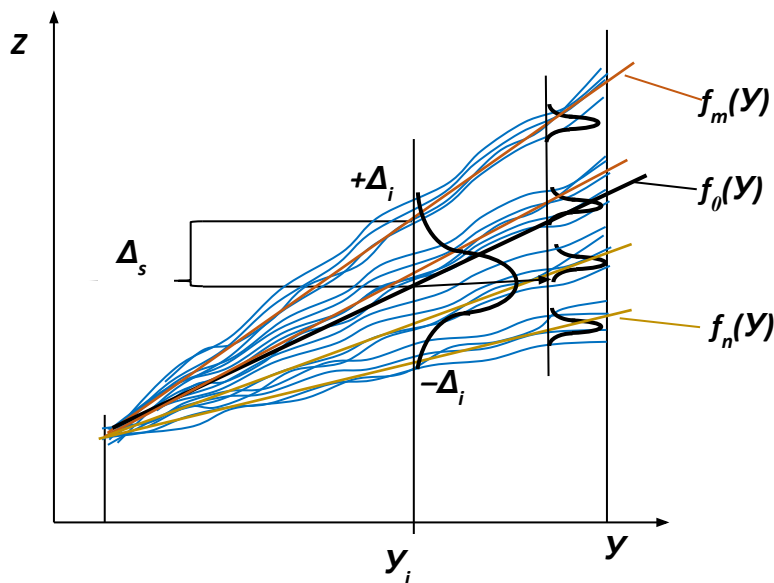
Принципиальная структурная схема измерительного прибора

(ИП – измерительные преобразователи, УОИ – устройство отображения измерительной информации)

Интегральные характеристики преобразующих СИ



Калибровочные (градуировочные) характеристики однотипных СИ



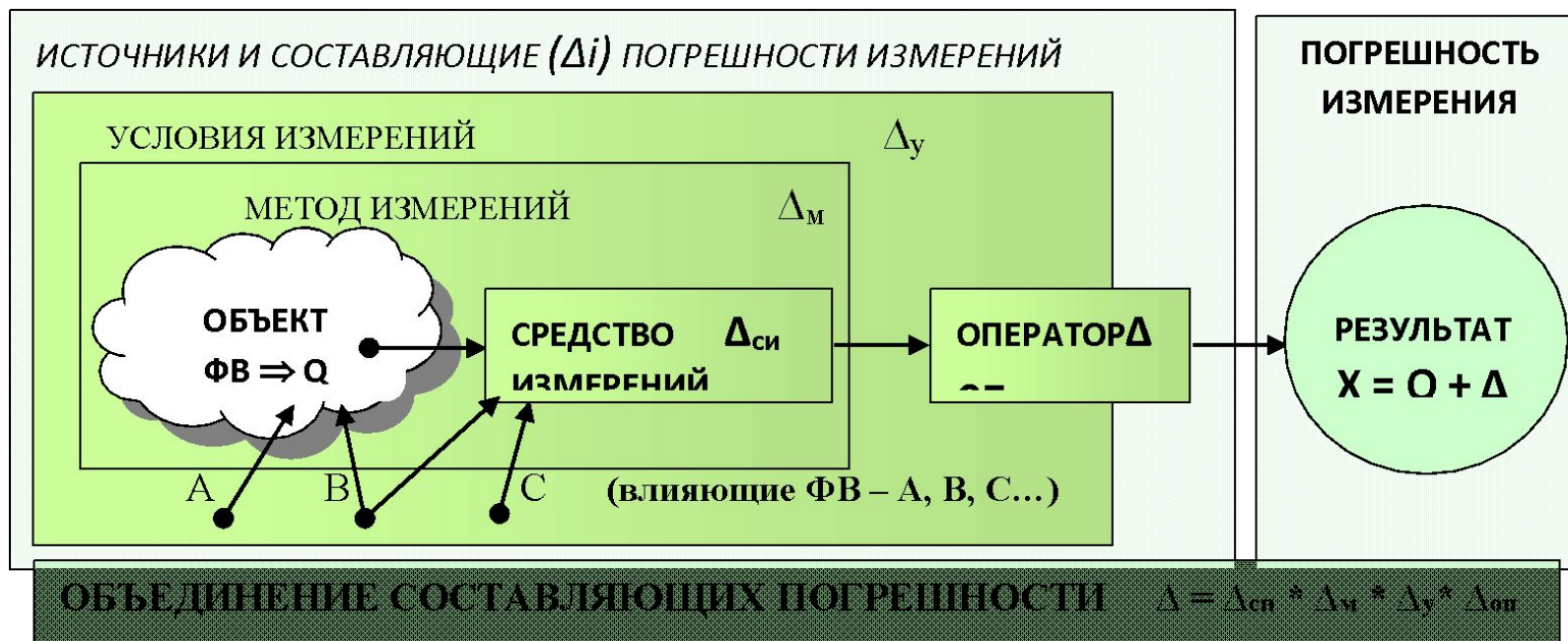
Модели множества преобразующих средств измерений (СИ) с аналоговым выходом;

$f_m(y)$ – экспериментальные (пучок реализаций) и аналитическая (линейная аппроксимация) модели m – ого экземпляра СИ;

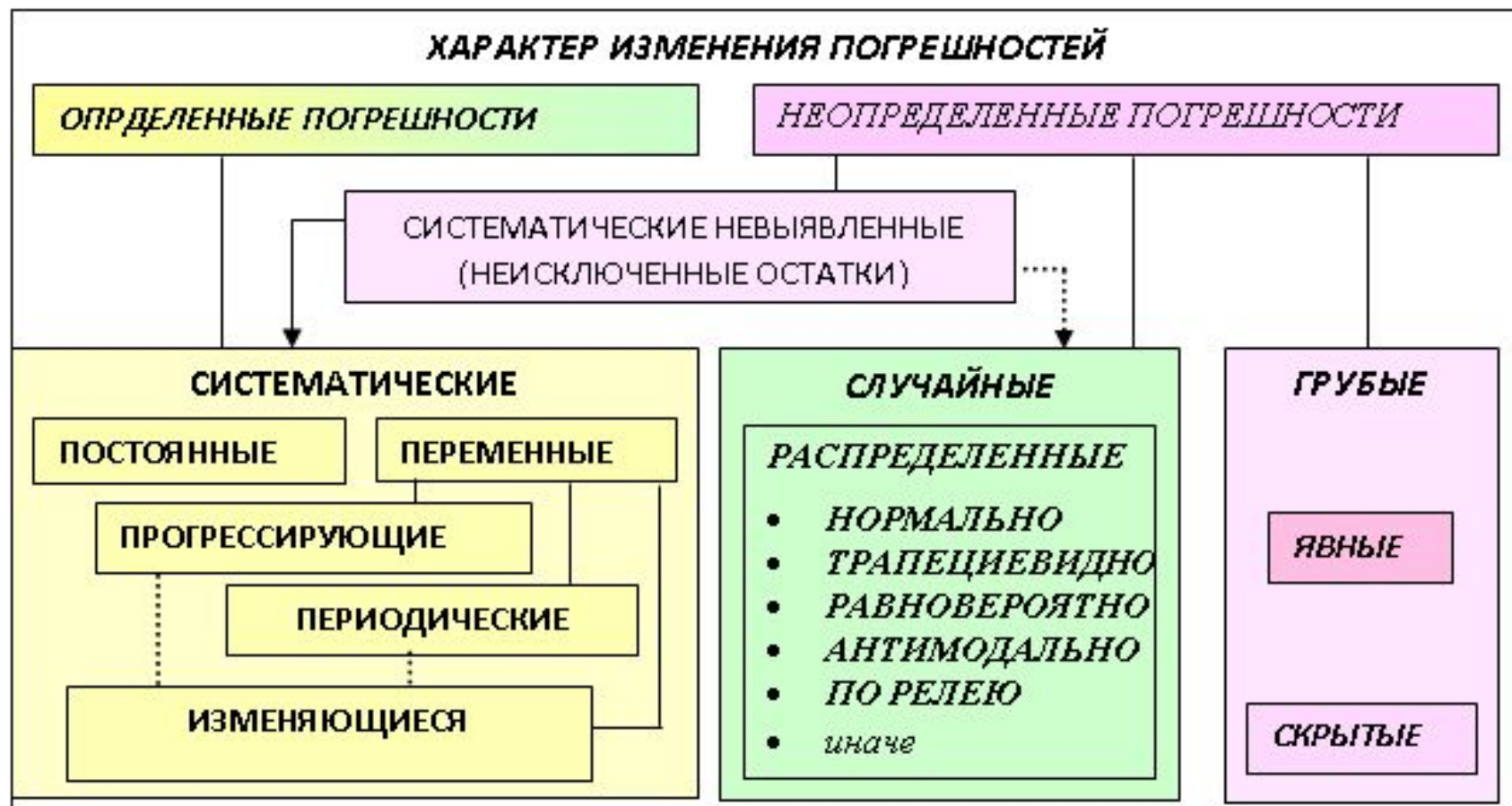
Δ_i – доверительная граница погрешности генеральной совокупности СИ при i – том значении измеряемой ФВ;

Δ_s – систематическая составляющая погрешности m – ого экземпляра СИ при i – том значении измеряемой ФВ

Источники погрешностей



Систематические, случайные и «грубые» погрешности



Систематические погрешности (графики)

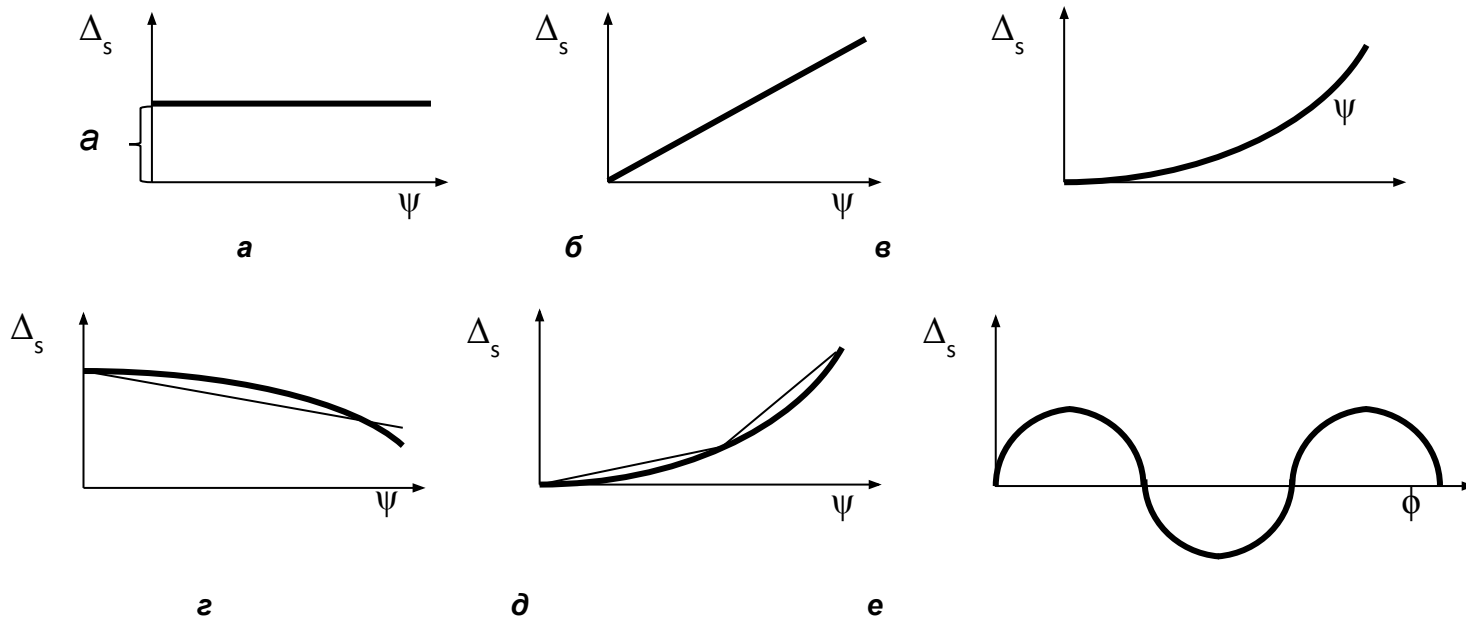
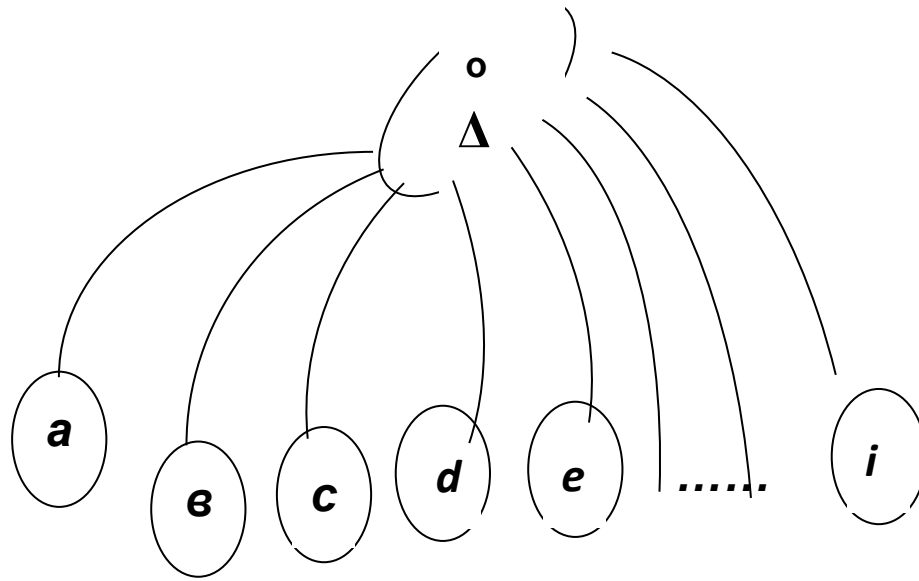


Рисунок 5.5 – Виды простейших систематических погрешностей
a – постоянные, **б, в** – прогрессирующие (линейная и нелинейная), **г, д** – прогрессирующие нелинейные (предложены варианты аппроксимации прямыми линиями), **е** – периодические (гармонические).

Механизмы возникновения случайных погрешностей



Механизм образования случайной погрешности:

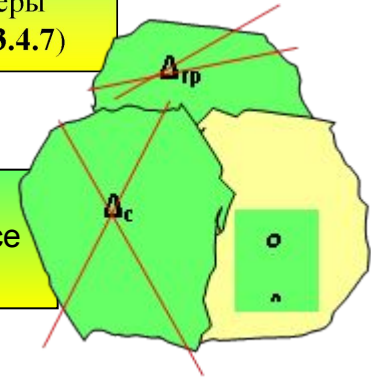
a... i – действующие факторы

Положения из Руководства по представлению неопределённости в измерениях

Руководство рассматривает выражение неопределенности измерения хорошо определенной физической величины – измеряемой величины, характеризуемой единственным значением (п. 1.2)

Грубые ошибки при регистрации или анализе данных могут вносить значительную неизвестную погрешность в результат измерения. ... небольшие могут быть замаскированы или даже **проявиться и виде случайных изменений**. Меры неопределенности не предназначены дать объяснение таким ошибкам (п. 3.4.7)

Предполагают, что в результате измерения внесены поправки на все известные значимые систематические эффекты и что предприняты все усилия, чтобы узнать такие эффекты (п. 3.2.4)



Хотя это *Руководство* дает схему определения неопределенности, оно не может заменить **критическое размышление, интеллектуальную честность и профессиональное мастерство**. Оценка неопределенности не является ни рутинной работой, ни чисто математической; она зависит от детального знания природы измеряемой величины и измерения. Поэтому качество и ценность упомянутой неопределенности результата измерения, в конечном счете, зависит от **понимания, критического анализа и честности** тех, кто участвует в приписывании ее значения (п. 3.4.8)

Количественные оценки неопределённости (Из Руководства)

Стандартная неопределенность – неопределенность результата измерения, выраженная как стандартное отклонение (п. 2.3.5)

$$u_{A,t} = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n_i (n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2} = \frac{b_{i+} - b_{i-}}{2\sqrt{3}}$$

Суммарная стандартная неопределенность – стандартная неопределенность результата измерения, когда результат получают из значений ряда других величин, равная положительному квадратному корню суммы членов, причем члены являются дисперсиями или ковариациями этих других величин, взвешенными в соответствии с тем, как результат измерения изменяется в зависимости от изменения этих величин

$$u_c(y) = \sqrt{\frac{1}{n_i - 1} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2} \quad \text{или} \quad u_c(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_i} \right)^2 u^2(x_i) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial f}{\partial x_i} \frac{\partial f}{\partial x_j} r(x_i, x_j) u(x_i) u(x_j)}$$

Расширенная неопределенность – величина, определяющая интервал вокруг результата измерения, в пределах которого можно ожидать, находится большая часть распределения значений, которые с достаточным основанием могли быть приписаны измеряемой величине (п. 2.3.1)


$$U = k U_c$$

k – коэффициент охвата или коэффициент покрытия

Единство измерений и метрологическая прослеживаемость

Из Закона РБ

Единство измерений – состояние измерений, при котором результаты этих измерений выражены в допущенных к применению в Республике Беларусь единицах величин, **обеспечена метрологическая прослеживаемость**, а **показатели точности измерений** не выходят за установленные границы с заданной вероятностью



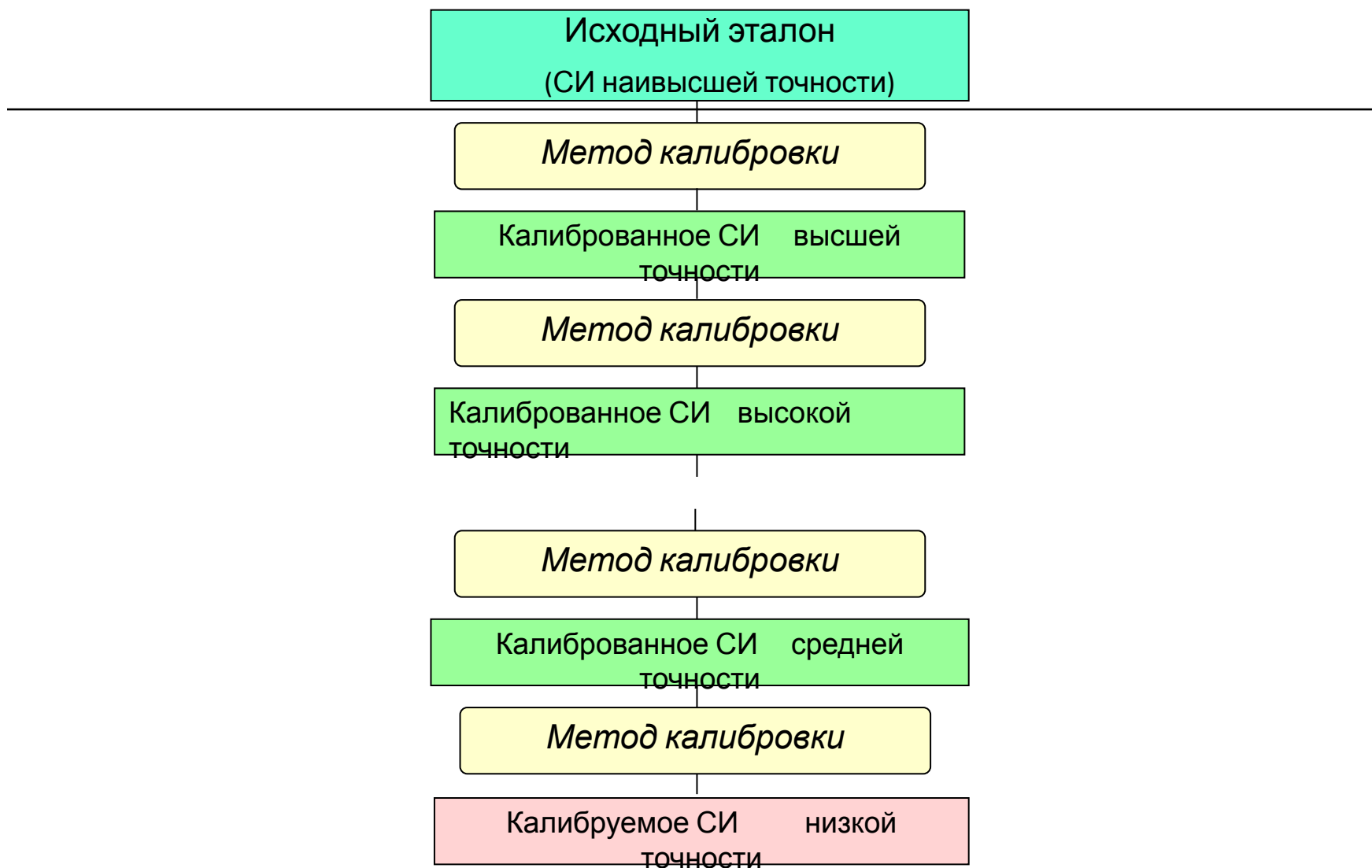
Метрологическая прослеживаемость-
свойство результата измерения, в
соответствии с которым результат может
быть соотнесен с основой для сравнения
через документированную *непрерывную*
цепь калибровок, каждая из которых
вносит вклад в неопределенность
измерения

Избранные примечания к определению

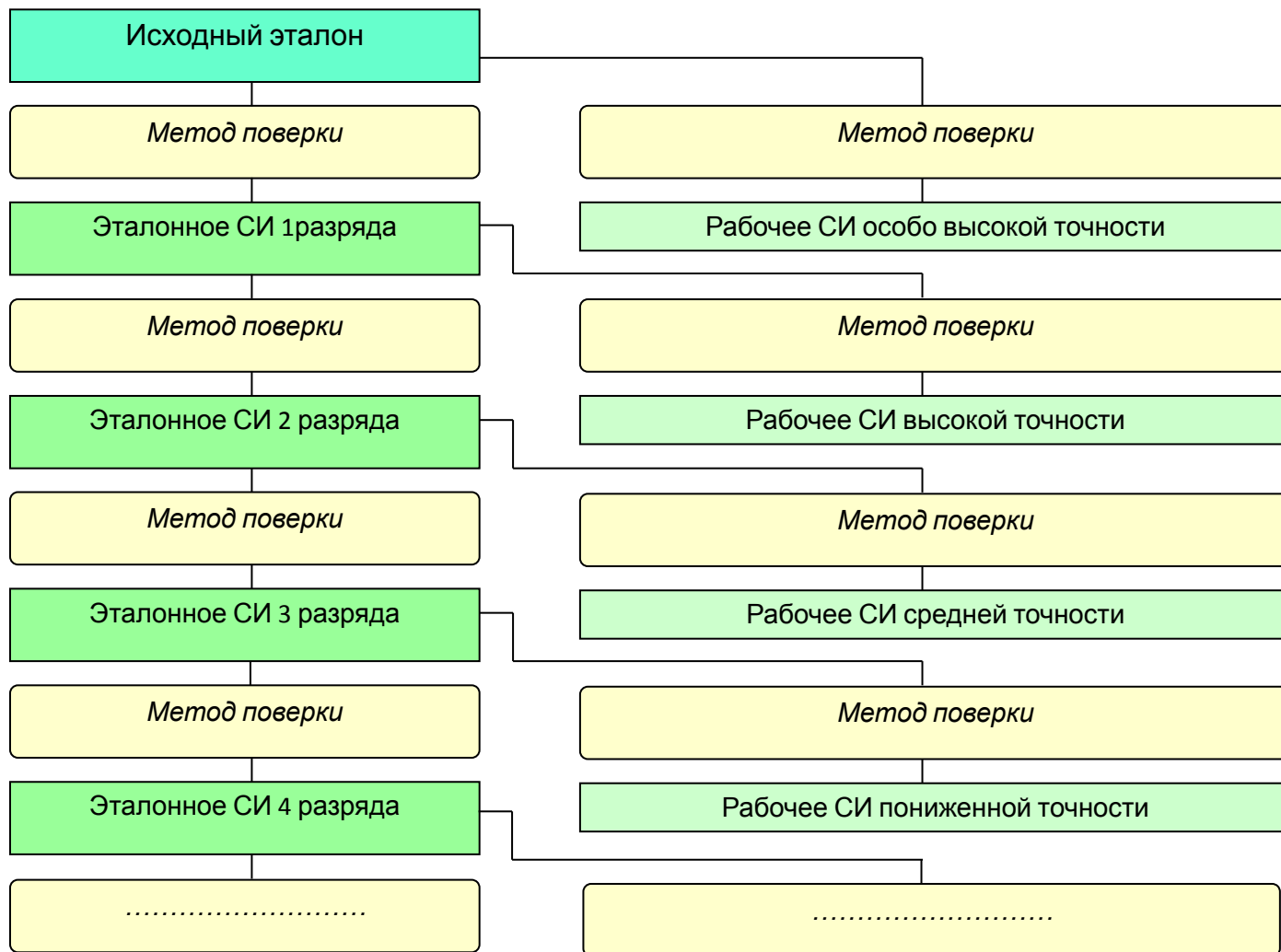
2. Метрологическая прослеживаемость требует наличия установленной *калибровочной иерархии* и/или *поверочной схемы*.

5 Метрологическая прослеживаемость результата измерения **не гарантирует**, что показатель точности (неопределенность) измерений соответствует заданной цели или что отсутствуют ошибки

Передача единицы от эталона калибруемым СИ



Передача единицы от эталона рабочим СИ (поверочная схема)



Оценивание случайных составляющих результата измерений «по типу А» (1)

- Исключение систематических составляющих погрешностей наблюдений:

$X_1'; X_2'; X_3'; \dots X_n'$. (неисправленные результаты наблюдений)

—

$\Delta_{s1}; \Delta_{s2}; \Delta_{s3}; \dots \Delta_{sn}$.

 $X_1; X_2; X_3; \dots X_n$. (исправленные результаты наблюдений)

- Исправленные результаты наблюдений можно подвергать статистической обработке для оценивания случайной составляющей погрешности измерений или оценивания неопределённости измерений.

Оценивание случайных составляющих результата измерений «по типу А» (2)

□ Оценки:

- качественные – аппроксимация вида распределения («закон распределения»);

- количественные – оценки с к о результата измерений и кратные ему.

□ Стандартная неопределённость

$$u_A(x_i) = \sqrt{\frac{1}{n_i(n_i - 1)} \sum_{q=1}^{n_i} (x_{iq} - \bar{x}_i)^2}$$

□ Расширенная неопределённость

$$U_A = k u_A(x_i)$$

Оценивание случайных составляющих результата измерений «по типу В» (1)

- Составляющие погрешности измерения (частные погрешности):
Источники частных погрешностей измерения:

$$\Delta_{\text{си}}; \Delta_{\text{м}}; \Delta_{\text{у}}; \Delta_{\text{оп}}.$$

Все значимые составляющие погрешности (без указания источников)

$$\Delta_1; \Delta_2; \Delta_3; \dots \Delta_n.$$

- Только собственно случайные составляющие погрешности измерений

$$\overset{\circ}{\Delta}_{s1}; \overset{\circ}{\Delta}_{s2}; \overset{\circ}{\Delta}_{s3}; \dots \overset{\circ}{\Delta}_{sn}.$$

(они же частные «расширенные неопределённости» U_i).

- Стандартные неопределённости $\overset{\circ}{u}(x_i) = U_i / k_i$ или Δ_i / k_i

Оценивание случайных составляющих результата измерений «по типу В» (2)

□ Дисперсия суммарной стандартной неопределенности при стохастически независимых составляющих

$$\square u_c^2(y) = \sum_{l=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_l} \right)^2 u^2(x_l)$$

Дисперсия суммарной стандартной неопределенности при наличии ковариации составляющих

$$u_c^2(y) = \sum_{l=1}^m \left(\frac{\partial f}{\partial x_l} \right)^2 u^2(x_l)$$

Коэффициент корреляции

$$r(x_i, x_j) =$$

$$\frac{\sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{il} - \bar{x}_i)(x_{jl} - \bar{x}_j)}{\sqrt{\sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{il} - \bar{x}_i)^2 \sum_{l=1}^{n_{ij}} (x_{jl} - \bar{x}_j)^2}}$$