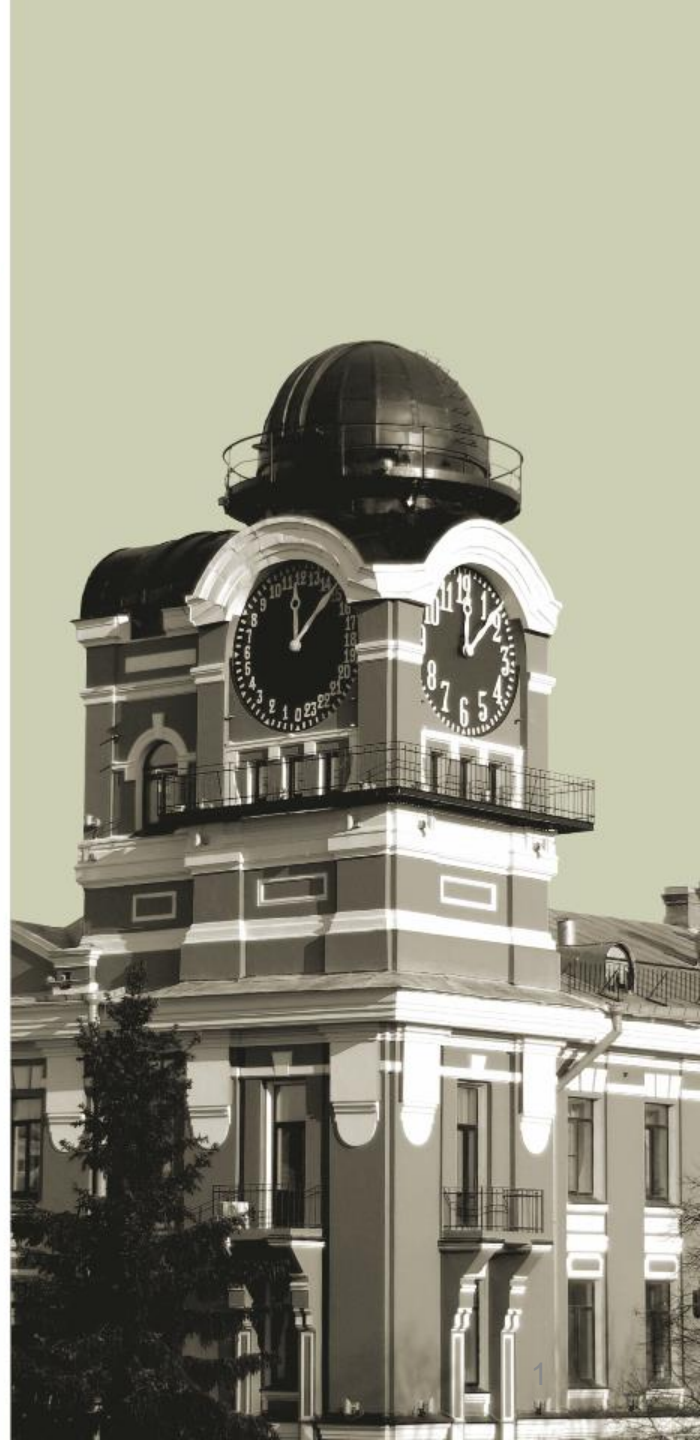




ФГУП «ВНИИМ ИМ. Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»

Оценивание несогласованных результатов сличений национальных эталонов

А.Г.Чуновкина



MRA: objectives, process and outcome

Reconnaissance mutuelle

des étalons nationaux de mesure
et des certificats d'étalonnage et de mesurage
émis par les laboratoires nationaux de métrologie
Paris, le 14 octobre 1999



Mutual recognition
of national measurement standards
and of calibration and measurement certificates
issued by national metrology institutes
Paris, 14 October 1999

Objectives

- to establish the degree of equivalence of national measurement standards maintained by NMIs;
- to provide for the mutual recognition of calibration and measurement certificates issued by NMIs
- ...

Process

- international comparisons of measurements, to be known as key comparisons;
- ...

Outcome

- statements of the measurement capabilities of each NMI ...

Degree of equivalence (MRA)

- ▶ "The degree of equivalence is taken to mean the degree to which these standards are consistent with reference values determined from the key comparisons and hence are consistent with one another.
- ▶ The degree of equivalence of each measurement standard is expressed quantitatively by two terms: its deviation from the key comparison reference value and the uncertainty of this deviation (at a 95% level of confidence)"

The tasks of comparisons in the context of MRA

The tasks of CIPM KC are

- 1.KCRV
- 2.DoEs
- 3.Confirmation of CMC

- ▶ Cox M G 2002 Metrologia 39 587-8
- ▶ Cox M G 2002 Metrologia 39 589-95
- ▶

The tasks of RMO KC are

- 1.Linkinɡ → establishing DoEs
- 2.Confirmation of CMC

- ▶ **COOMET R /GM / 14: 2006** Руководство по оцениванию данных ключевых сличений КОOMET

The tasks of supplementary comparisons

- 1.Confirmation of CMC

- ▶ **COOMET R /GM / 19: 2008** Руководство по оцениванию данных дополнительных сличений КОOMET



Сличения национальных эталонов

Сличения	Процедуры	Документы
Ключевые сличения СИРМ	<ol style="list-style-type: none">1. Определение KCRV;2. Определение DoEs;3. Подтверждение строк СМС	
Региональные ключевые сличения	<ol style="list-style-type: none">1. Определение DoEs;2. Подтверждение строк СМС	COOMET R/GM/14:2016
Дополнительные сличения	<ol style="list-style-type: none">1. Подтверждение строк СМС	COOMET R/GM/19:2016

Подтверждение строк СМС на основе DoEs. Текущая практика

Определение
KCRV

Расчёт DoEs

Подтверждение СМС

«...Измерительные и калибровочные возможности выражаются, как ...»

$$\{x_{ref}, u_{ref}\}$$



$$d_i = x_i - x_{ref}$$
$$u(d_i)$$



$$d_i < 2u(d_i)$$

Нет

Увеличение соответствующих
неопределенностей измерений

Наконец, все результаты
измерений согласуются с опорным
значением

“In this case, the institute has the choice of either withdrawing ... of the relevant calibration and measurement services or increasing the corresponding uncertainties...”



Руководство для оценивания данных СИРМ ключевых сличений, (Сох М G 2002 Metrologia 39 589-95)

Процедура А применима при следующих условиях:

- стабильности транспортируемого эталона;
- независимости результатов измерений разных НМИ;
- нормальный закон распределения

Если нарушается третье условие или не проходит тест на согласованность результатов измерений, то применяют процедуру В.

Описание Процедуры А

Входные данные: $\{x_i, u_i\}_{i=1}^n$, $u_i = u(x_i)$

Обозначим участвующие институты, номерами $i = 1, \dots, N$, всего N . Входными величинами для оценки являются результаты измерений, полученные в институтах, обозначенные через x_i , и соответствующие им стандартные неопределенности, обозначенные через $u(x_i)$.

Описание Процедуры А

Шаг 1. Определим средневзвешенное результатов измерений институтов:

$$\bar{x}_w = \frac{x_1/u^2(x_1) + \dots + x_N/u^2(x_N)}{1/u^2(x_1) + \dots + 1/u^2(x_N)}$$

Шаг 2. Определим соответствующее стандартную неопределенность отклонение $u(\bar{x}_w)$

$$\frac{1}{u^2(\bar{x}_w)} = \frac{1}{u^2(x_1)} + \dots + \frac{1}{u^2(x_N)}$$

Описание Процедуры А

Шаг 3. Применим критерий χ^2 для выполнения проверки согласованности всех полученных результатов.

а) Вычислим выборочное χ^2 – значение:

$$\chi_{obs}^2 = \frac{(x_1 - \bar{x}_w)^2}{u^2(x_1)} + \dots + \frac{(x_N - \bar{x}_w)^2}{u^2(x_N)}$$

б) Будем считать, что проверка согласованности данных не проходит, если

$$P\{\chi^2(N - 1) > \chi_{obs}^2\} < 0,05$$

Описание Процедуры А

Шаг 4. Если проверка выполняется, то:

а) В качестве KCRV x_{ref} берем \bar{x}_w ;

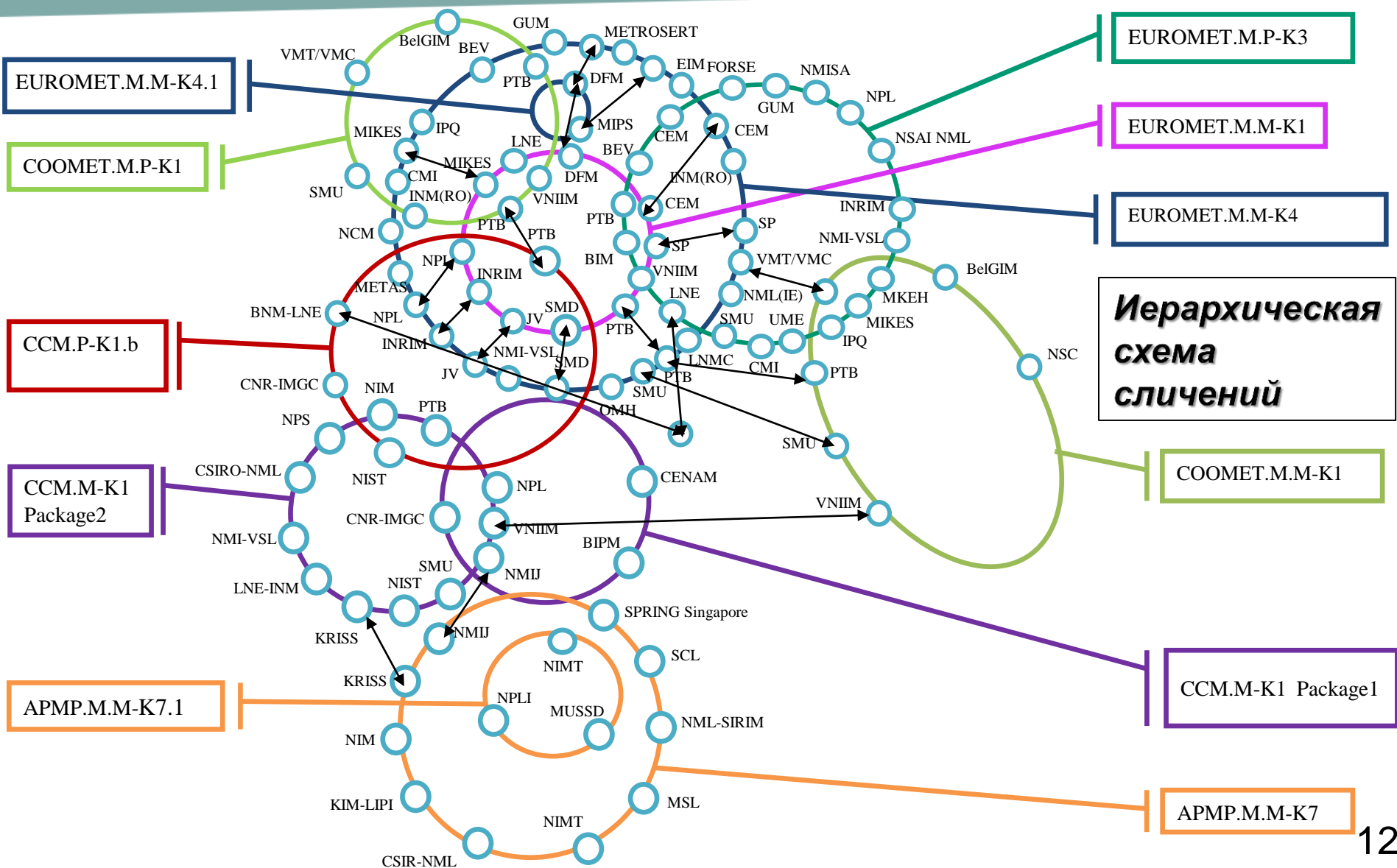
б) Принимаем $u(\bar{x}_w)$ в качестве стандартной неопределенности $u(x_{ref})$;

с) Рассчитываем степени эквивалентности:

$$d_i = x_i - x_{ref} \quad u(d_i) = \sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{ref})}$$

д) Рассчитываем попарные степени эквивалентности

$$d_{ij} = x_i - x_j \quad u(d_{ij}) = \sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_j)}$$



What MRA says about RMO KC data evaluation?

3 Technical basis of the arrangement

3.2“RMO key comparisons must be linked to the corresponding CIPM key comparisons by means of joint participants.”....

Technical supplement to the arrangement

T.4 “The results of the RMO key comparisons are linked to key comparison reference values established by CIPM key comparisons by the common participation of some institutes in both CIPM and RMO comparisons. The uncertainty with which comparison data are propagated depends on the number of institutes taking part in both comparisons and on the quality of the results reported by these institutes

Обработка данных региональных ключевых сличений. СООМЕТ R/GM/14:2016

Обозначения:

x_i - результаты СИРМ КС;

\tilde{x}_i - результаты РМО КС;

\tilde{x}_i^*, x_i^* - результаты связующих НМИ, полученные в СИРМ и РМО КС соответственно;

\tilde{x}_i' - трансформированные результаты РМО КС



Обработка данных региональных ключевых сличений. СОOMET R/GM/14:2016

ПРОЦЕДУРА С

Трансформированные результаты сличений вычисляются по формулам:

$$\tilde{x}_i' = \tilde{x}_i + \Delta$$

с соответствующей неопределенностью

$$u^2(\tilde{x}_i') = u^2(\tilde{x}_i) + u^2(\Delta)$$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

В случае одного связующего НМИ, аддитивная поправка Δ и соответствующая неопределенность вычисляются по формулам:

$$\Delta = x^* - \tilde{x}^*,$$

$$u^2(\Delta) = u^2(x^*) + u^2(\tilde{x}^*) - 2cov(x^*, \tilde{x}^*),$$

$$cov(x^*, \tilde{x}^*) = \rho \cdot u(x^*) \cdot u(\tilde{x}^*),$$

$$u(x^*) \cong u(\tilde{x}^*),$$

$$\rho = \frac{u_B^2(x^*)}{u^2(x^*)},$$

$$u^2(\Delta) = 2u^2(x^*) - 2u_B^2(x^*) = 2u_A^2(x^*) = 2S^2$$

$$u^2(\Delta) = 2S^2$$

Обработка данных региональных ключевых сличений. СООМЕТ R/GM/14:2016

В случае нескольких связующих НМИ, аддитивная поправка вычисляется как средневзвешенное значение аддитивных поправок, вычисленных по результатам каждого связующего НМИ

$$\Delta = \frac{\sum_{i=1}^L \frac{\Delta_i}{S_i^2}}{\sum_{i=1}^L S_i^{-2}}, \quad u^2(\Delta) = \frac{2}{\sum_{i=1}^L S_i^{-2}}$$

Где $\Delta_i = x_i^* - \tilde{x}_i^*$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Степень эквивалентности i -того НМИ оценивается по формуле :

$$d_i = \tilde{x}_i + \Delta - x_{ref}$$

с соответствующей неопределенностью

$$u^2(d_i) = u^2(\tilde{x}_i) + u^2(x_{ref}) + u^2(\Delta) \left\{ 1 - u^2(x_{ref}) \times \sum_1^L u^{-2}(x_i^*) \right\}$$

если i -тый НМИ не заимствует размер единицы у участников CIPM КС, и

$$u^2(d_i) \cong u^2(\tilde{x}_i) - u^2(x_{ref}) + u^2(\Delta) \left\{ 1 - u^2(x_{ref}) \times \sum_1^L u^{-2}(x_i^*) \right\}$$

если i -тый НМИ заимствует размер единицы у какого-либо участника CIPM КС

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Вычисление попарных степеней эквивалентностей эталонов-участников RMO KC

Степень эквивалентности для пары эталонов НМИ-участников RMO KC вычисляется по формуле:

$$d_{ij} = d_i - d_j = \tilde{x}_i - \tilde{x}_j$$

$$u^2(d_{ij}) = u^2(\tilde{x}_i) + u^2(\tilde{x}_j) - 2\text{cov}(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j)$$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Вычисление попарных степеней эквивалентностей эталонов-участников RMO KC

Степень эквивалентности пары эталонов, участник RMO KC и участник CIPM KC вычисляется по формуле:

$$d_{ij} = \tilde{x}_i + \Delta - x_j$$

с соответствующей неопределенностью

$$u^2(d_{ij}) = u^2(\tilde{x}_i) + u^2(\Delta) + u^2(x_j) - 2\text{cov}(\tilde{x}_i, x_j)$$

если участник CIPM KC не является связующим НМИ

Обработка данных региональных ключевых сличений. СОOMET R/GM/14:2016

Подтверждение заявленных неопределенностей

Если выполняется следующее неравенство:

$$|d_i| < 2u(d_i)$$

то оценки неопределенностей результатов, заявляемые НМИ, согласуются с данными сличений, что является подтверждением соответствующих строк СМС

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2006

ПРОЦЕДУРА D

Вычисление трансформированных данных сличений

При применении процедуры D трансформированные результаты вычисляются по формулам:

$$\tilde{x}'_i = \tilde{x}_i \times c$$

$$u_{rel}^2(\tilde{x}'_i) = u_{rel}^2(\tilde{x}_i) + u_{rel}^2(c)$$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2006

Вычисление мультипликативной поправки в случае одного связующего НМИ

В случае одного связующего НМИ, мультипликативная поправка c и соответствующая неопределенность $u_{rel}(\Delta)$ вычисляется по формулам:

$$c = \frac{x^*}{\tilde{x}^*}, u_{rel}^2 \left(\frac{x^*}{\tilde{x}^*} \right) = 2u_{rel}^2(x^*)(1 - \rho)$$

x^*, \tilde{x}^* результаты измерений, полученные связующими НМИ и СИРМ и РМО КС соответственно.

ρ коэффициент корреляции результатов измерений, полученных в связующем НМИ, $u_{rel}(x^*) = u_{rel}(\tilde{x}^*)$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Вычисление мультипликативной поправки в случае нескольких связующих НМИ

В случае нескольких связующих НМИ, мультипликативная поправка вычисляется как средневзвешенное значение мультипликативных поправок, вычисленных по результатам каждого связующего НМИ:

$$c = \frac{\sum_{k=1}^L \frac{1}{u_{rel}^2(x_k^*)(1-p_k)} \times \frac{x_k^*}{\tilde{x}_k^*}}{\sum_{k=1}^L \frac{1}{u_{rel}^2(x_k^*)(1-p_k)}}, \quad u_{rel}^2(c) = \frac{2}{\sum_{k=1}^L \frac{1}{u_{rel}^2(x_k^*)(1-p_k)}}$$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Вычисление степени эквивалентности

Степень эквивалентности i -го НМИ оценивается по формуле:

$$d_i = \tilde{x}_i \times c - x_{ref}$$

с соответствующей неопределенностью

$$u^2(d_i) = c^2 u^2(\tilde{x}_i) + u^2(x_{ref}) + 2 \left(\sum_1^L \frac{1}{u^2(x_k^*)(1-p_k)} \right)^{-1} \left(1 - u^2(x_{ref}) \sum_1^L \frac{1}{u^2(x_k^*)} \right)$$

если i -тый НМИ не заимствует размер единицы у участников СИРМ КС, и

$$u^2(d_i) \cong c^2 u^2(\tilde{x}_i) - u^2(x_{ref}) + 2 \left(\sum_1^L \frac{1}{u^2(x_k^*)(1-p_k)} \right)^{-1} \left(1 - u^2(x_{ref}) \sum_1^L \frac{1}{u^2(x_k^*)} \right)$$

если i -тый НМИ заимствует размер единицы у какого-либо участника СИРМ КС

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Вычисление попарных степеней эквивалентности

Вычисление попарных степеней эквивалентности эталонов-участников RMO КС

Степень эквивалентности для пары эталонов НМИ-участников RMO КС, когда ни один НМИ не является связующим, вычисляется по формуле

$$d_{ij} = d_i - d_j = c(\tilde{x}_i - \tilde{x}_j)$$

$$u^2(d_{ij}) = c^2(u^2(\tilde{x}_i) + u^2(\tilde{x}_j) - 2\text{cov}(\tilde{x}_i, \tilde{x}_j))$$

Обработка данных региональных ключевых сличений.

СОМЕТ R/GM/14:2016

Вычисление попарных степеней эквивалентности

Вычисление попарных степеней эквивалентности эталона-участника RMO КС и эталона-участника CIPM КС

Степень эквивалентности пары эталонов, участник RMO КС и участник CIPM КС вычисляется по формуле:

$$d_{ij} = \tilde{x}_i \times c - x_j$$

с соответствующей неопределенностью

$$u^2(d_{ij}) = c^2 u^2(\tilde{x}_i) + u^2(x_j) + \frac{2}{\sum_1^L \frac{1}{u^2(x_k)(1-p_k)}} - 2 \text{cov}(\tilde{x}_i, x_j)$$

если j -ый НМИ не является связующим НМИ и

$$u^2(d_{ij}) = c^2 u^2(\tilde{x}_i) + u^2(x_j) - 2c \text{cov}(\tilde{x}_i, x_j)$$

если j -ый НМИ является связующим НМИ



Обработка данных региональных ключевых сличений. СОOMET R/GM/14:2016

Подтверждение заявленных неопределенностей

Если выполняется следующее неравенство:

$$|d_i| < 2u(d_i)$$

то оценки неопределенностей результатов, заявляемые НМИ, согласуются с данными сличений, что является подтверждением соответствующих строк СМС.

Обработка данных региональных ключевых сличений. СОМЕТ R/GM/14:2016

Приложение В

Выражение степени эквивалентности в относительном виде

$$d_{i,rel} = \frac{x_i}{x_{ref}} \quad d_{i,rel} = \frac{x_i - x_{ref}}{x_{ref}} = \frac{x_i}{x_{ref}} - 1$$



Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

В зависимости от уровня эталонов, участвующих в сличениях, следует выделить два основных типа дополнительных сличений :

Тип I. Сличения первичных национальных эталонов, которые по разным причинам не были внесены в список ключевых сличений. Среди таких причин можно выделить перегрузку Консультативных комитетов или интерес к данному виду сличений только у ограниченного числа НМИ. Сличения данного типа часто могут быть двухсторонними.

Тип II. Сличения, как правило, вторичных национальных эталонов, которые заимствуют размер единицы у участников ключевых сличений СИРМ. Участие таких НМИ в СИРМ КС проблематично, поскольку круг участников СИРМ КС ограничен прежде всего первичными национальными эталонами, которые имеют приблизительно один уровень точности.

Обработка данных дополнительных сличений. СООМЕТ R/GM/19:2016

Решаемые задачи	Тип сличений	
	Тип I	Тип II
Проверка согласованности данных=подтверждение заявленных СМС	$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(x_i - x_{ref})^2}{u^2(x_i)}$	-----
Выявление несогласованных данных	$E_n = \frac{ x_i - x_{ref} }{2\sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{ref})}}$	$\widetilde{E}_n = \frac{ x_i - x_{ref} }{2\sqrt{u^2(x_i) + u^2(x_{ref}) - 2cov(x_i, x_{ref})}}$
Подтверждение СМС	При различии методик измерений при сличении и калибровке анализ бюджета неопределенности измерений и аудит системы менеджмента качества	

Обработка данных дополнительных сличений. СОМЕТ R/GM/19:2016

Обозначения	
x_i	результаты дополнительных сличений;
$u(x_i)$	заявленные стандартные неопределенности участников сличений
n	число участников сличений
x_{ref}	опорное значение дополнительных сличений;
$u(x_{ref})$	стандартная неопределенность опорного значения дополнительных сличений;
$cov(x_i, x_{ref})$	ковариация результатов измерения i -го НМИ и опорного значения дополнительных сличений, обусловленная заимствованием размера единицы.

Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Оценивание данных дополнительных сличений первого типа.

Проверка согласованности данных сличений

На основе результатов измерений и соответствующих неопределенностей, представленных участниками сличений, вычисляют значение критерия χ^2

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(x_i - x_{ref})^2}{u^2(x_i)}$$

$$x_{ref} = \frac{\sum_1^n \frac{x_i}{u^2(x_i)}}{\sum_1^n \frac{1}{u^2(x_i)}}, \quad u^2(x_{ref}) = \frac{1}{\sum_1^n \frac{1}{u^2(x_i)}}$$

Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Оценивание данных дополнительных сличений первого типа.

Проверка согласованности данных сличений

Если значение критерия, вычисленное по представленным НМИ данным, не превосходит критического значения χ^2 для уровня доверия 0,95 и числа степеней свободы $n-1$

$$\chi^2 = \sum_1^n \frac{(x_i - x_{ref})^2}{u^2(x_i)} < \chi_{0,95}^2(n - 1)$$

то данные разных НМИ могут быть признаны согласованными.

Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Выявление несогласованных данных и формирование множества согласованных данных сличения

Определяется тот НМИ, который обеспечивает максимум критерия E_n :

$$\max_i E_n = \frac{|x_i - x_{ref}|}{2\sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{ref})}}$$

Данные этого НМИ временно исключаются из рассмотрения, и повторяется процедура, расписанная выше. Последовательное исключение данных повторяется до тех пор, пока не будет выполнено указанное выше условие для группы оставшихся данных (множество согласованных данных)

Для формирования множества согласованных данных также может быть применена процедура формирования наибольшего согласованного множества.

Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Подтверждение СМС данных// Cox M G., Harris P, Milton M “Methods for determining acceptable СМС”

Для результатов измерений, пошедших в множества согласованных данных и используемых для вычисления опорного значения применяется следующая процедура подтверждения СМС данных.

Если для результата измерения x , $u(x)$ выполняется условие:

$$E_n = \frac{|x - x_{ref}|}{2\sqrt{u^2(x) - u^2(x_{ref})}} < 1$$

То минимальная стандартная неопределенность, которая может быть заявлена в качестве СМС составляет:

$$u(cmc) = u(x)$$

Соответственно расширенная неопределенность составляет

$$U_{0,95}(cmc) = 2u(x)$$

Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Подтверждение СМС данных// Cox M G., Harris P, Milton M

“Methods for determining acceptable СМС”

<http://www.bipm.org/wg/AllowedDocuments.jsp?wg=GAWG>

Если для результата измерения x , $u(x)$ не выполняется условие выше, то минимальная стандартная неопределенность, которая может быть заявлена при выполнении измерений/калибровок (СМС) вычисляется по следующей формуле:

$$u^2(cmc) = \frac{(x - x_{ref})^2}{4} + u^2(\bar{x}_{ref})$$

Соответственно расширенная неопределенность составляет $U_{0,95}(cmc) = 2u(cmc)$.

Для результатов измерений, не вошедших в множество согласованных данных и используемых для вычисления опорного значения применяется минимальная стандартная неопределенность вычисляется по следующей формуле:

$$u^2(cmc) = \frac{(x - x_{ref})^2}{4} - u^2(\bar{x}_{ref}), \quad U_{0,95}(cmc) = 2u(cmc)$$



Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Оценивание данных дополнительных сличений второго типа

Установление опорного значения дополнительных сличений

Референтная лаборатория устанавливает на основе результатов измерений или расчетов опорное значение дополнительных сличений- оценку значения транспортируемого эталона сравнения и соответствующую неопределенность:

$$x_{ref}, u(x_{ref})$$

Обработка данных дополнительных сличений. СОМЕТ R/GM/19:2016

Подтверждение СМС данных

Подтверждение СМС основано на использовании критерия \widetilde{E}_n , вычисленном по представленному НМИ результаты измерения, x , $u(x)$:

$$\widetilde{E}_n = \frac{|x - x_{ref}|}{2\sqrt{u^2(x) + u^2(x_{ref}) - 2cov(x, x_{ref})}} < 1$$

Примечание: Основной причиной ковариации $cov(x_i, x_{ref})$ является заимствование единицы величины у референтной лаборатории. Для вычисления ковариации необходимо проанализировать бюджет участника сличений и референтной лаборатории и выявить те составляющие, которые являются общими и неизменными $u_0^2(x_i)$:

$$cov(x_i, x_{ref}) = u_0^2(x_i)$$

Обработка данных дополнительных сличений. СОOMET R/GM/19:2016

Подтверждение СМС данных

Если условие выше выполняется, то минимальная стандартная неопределенность, которая может быть заявлена в качестве СМС равна

$$u(cmc) = u(x)$$

Минимальная стандартная неопределенность, которая может быть заявлена в качестве СМС вычисляется по формуле:

$$u^2(cmc) = \frac{(x - x_{ref})^2}{4} - u^2(\bar{x}_{ref}),$$

Соответственно расширенная неопределенность составляет

$$U_{0,95}(cmc) = 2u(cmc)$$

Confirmation of CMC entries on the basis of DoEs.

Current practice

Determination of KCRV

Calculating DoEs

$$\{x_{ref}, u_{ref}\}$$



$$d_i = x_i - x_{ref}$$
$$u(d_i)$$



Confirmation of CMC

"...calibration and measurement capabilities expressed as an uncertainty..."

$$d_i < 2u(d_i)$$



No

Increasing the corresponding measurement uncertainties

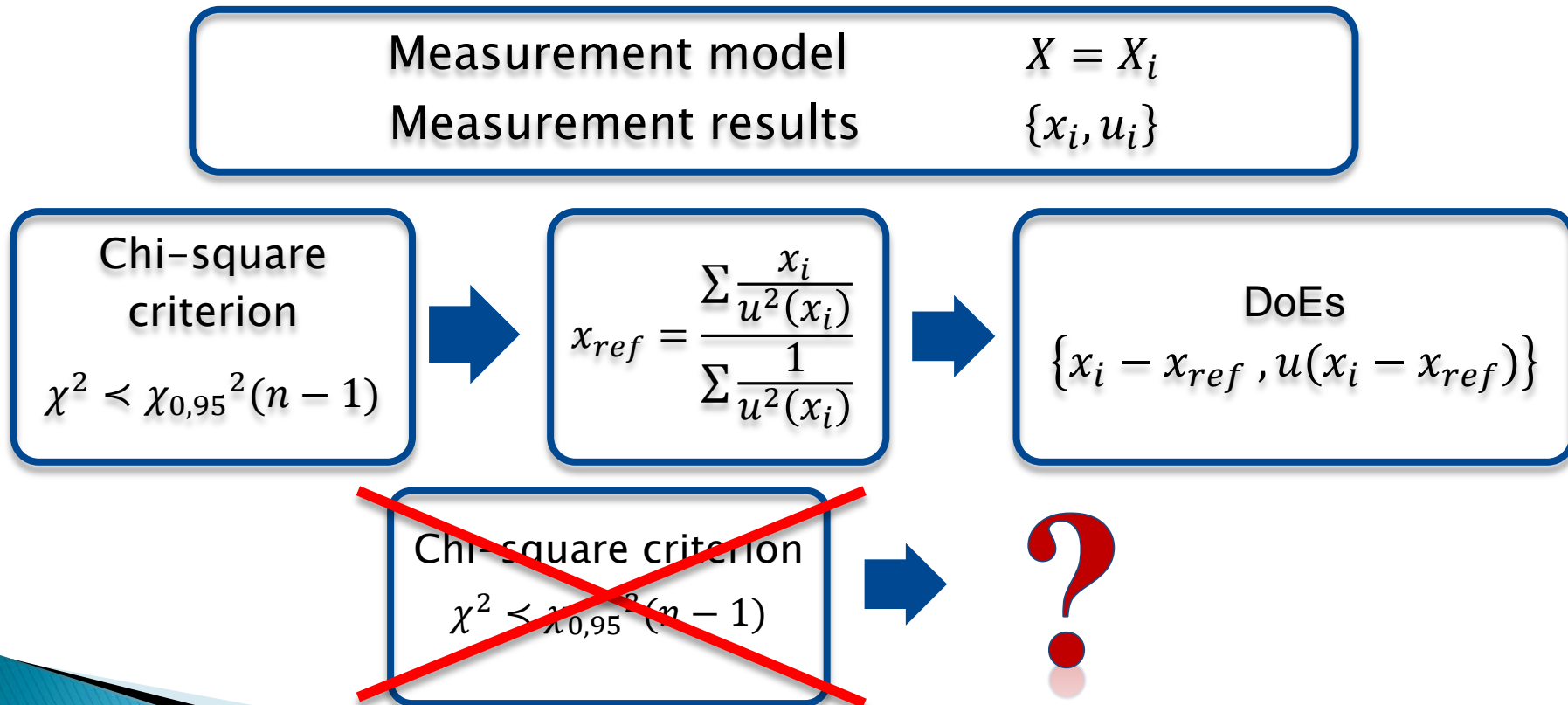


Finally all measurement results occur to be consistent with reference value

"In this case, the institute has the choice of either withdrawing ... of the relevant calibration and measurement services or increasing the corresponding uncertainties..."

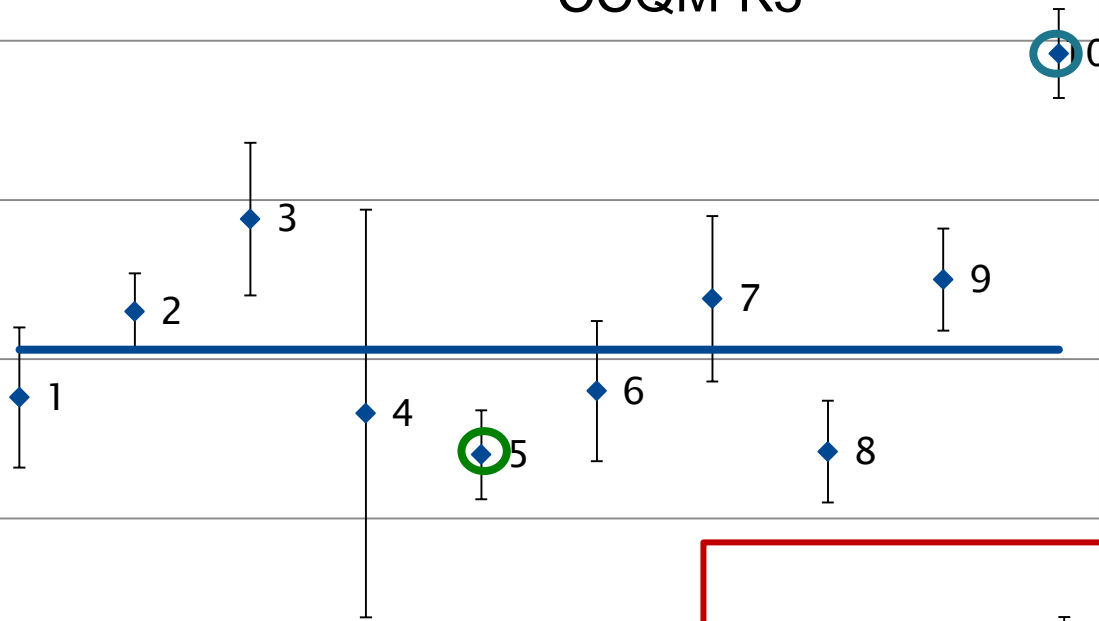
KCRV and Degree of equivalence of measurement standards

... the degree of equivalence of measurement standards is taken to mean the degree to which these standards are consistent with reference values determined from the key comparisons and hence are consistent with one another.

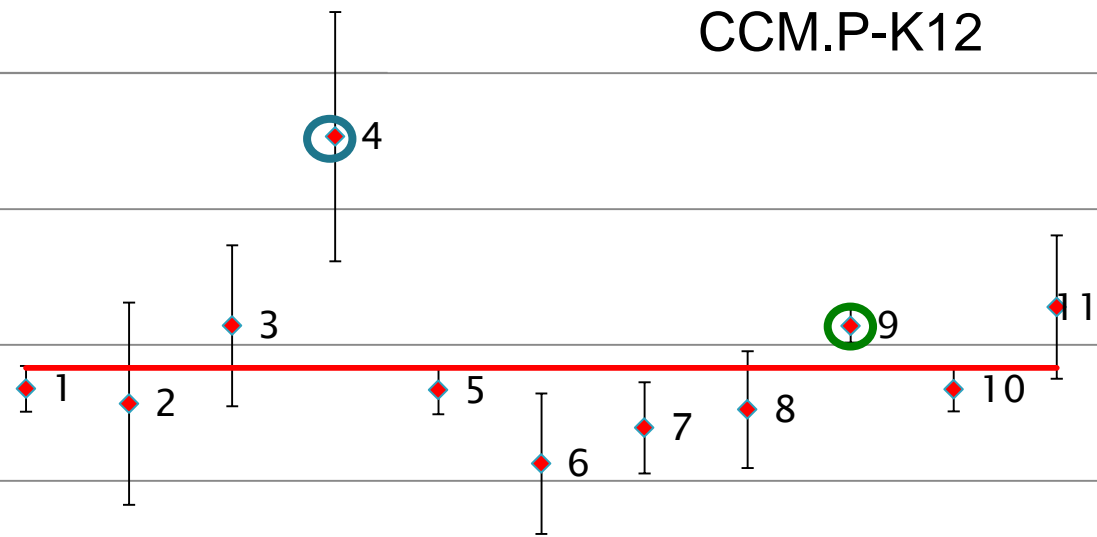


Examples of inconsistent data

CCQM-K5



CCM.P-K12



CCQM-K5. Pair-wise degrees of equivalence

$$d_{ij} = \left\{ x_i - x_j, 2\sqrt{u_i^2 + u_j^2} \right\}$$

$$E_n = \frac{|x_i - x_j|}{2\sqrt{u_i^2 + u_j^2}}$$

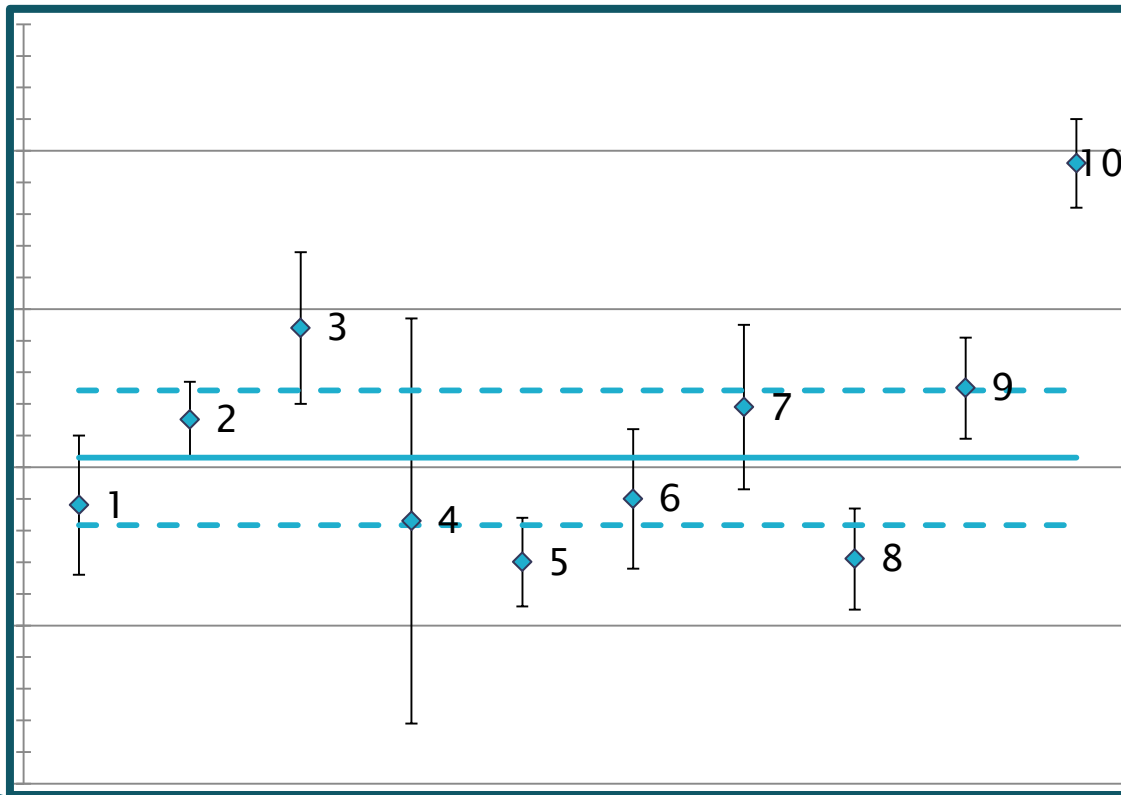
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		1,08	1,72	0,07	0,69	0,06	0,91	0,62	1,36	4,14
2	1,08		1,08	0,49	2,44	1,00	0,14	2,20	0,50	4,39
3	1,72	1,08		0,89	2,66	1,66	0,71	2,53	0,66	1,87
4	0,07	0,49	0,89		0,20	0,10	0,52	0,18	0,64	1,72
5	0,69	2,44	2,66	0,20		0,77	1,66	0,05	2,59	6,36
6	0,06	1,00	1,66	0,10	0,77		0,85	0,70	1,29	4,06
7	0,91	0,14	0,71	0,52	1,66	0,85		1,57	0,20	2,61
8	0,62	2,20	2,53	0,18	0,05	0,70	1,57		2,39	5,88
9	1,36	0,50	0,66	0,64	2,59	1,29	0,20	2,39		3,34
10	4,14	4,39	1,87	1,72	6,36	4,06	2,61	5,88	3,34	

CCQM-K5 Key Comparison

Determination of pp'-DDE in Fish Oil

$$x_{ref} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

$$u^2(x_{ref}) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n(n-1)}$$



	CCQM-K5	
	KCRV	Uncertainty
	1,513	0,023
	D_i	$U(D_i)$
1	-0,015	0,029
2	0,012	0,025
3	0,041	0,032
4	-0,020	0,067
5	-0,033	0,025
6	-0,013	0,031
7	0,016	0,033
8	-0,032	0,026
9	0,022	0,026
10	0,093	0,026

Approaches for evaluation of inconsistent data

Forming consistent set /subset

- **Largest consistent subset (LCS)**

Cox M. G. "The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset", 2007, Metrologia 44, pp. 187-200

- **Birge ratio**

Lira I. "Combining inconsistent data from interlaboratory comparisons", 2007, Metrologia 44, pp. 415-21

- **MCS**

Burmistrova N.A. "Development and study of algorithms for processing inconsistent data in key comparisons of standards", Measurement Techniques. 2015. T. 57. № 10. C. 1103-1112.

Burmistrova N., Viktorov I., Chunovkina A.

"Data processing in determining gravitational constant by the method of metrological compatibility set (MCS)", 30th International Scientific Symposium Metrology and Metrology Assurance, MMA 2020. 30. 2020. C. 9254238.

Using more complicated model

- **Fix effect model**

Elster C., Toman B. "Analysis of key comparisons: estimating laboratories' biases by a fixed effects model using Bayesian model averaging", 2010, Metrologia 47, pp. 113-119

$$X_i = X + B_i,$$



some additional assumptions are required: Sutton C M 2004 Metrologia 41 272-7



Random effect model (REM)

Koepke, A., Lafarge, T., Possolo, A., & Toman, B. "Consensus building for interlaboratory studies, key comparisons, and meta-analysis.", 2017, Metrologia, 54(3), S34-S62.

Toman B, Possolo A "Laboratory effects models for interlaboratory comparisons", 2009, Accreditation and Quality Assurance, 14, pp. 553-56

Willink R., "Statistical determination of a comparison reference value using hidden errors", 2002, Metrologia 39, pp. 343-354

Merkatas C, Toman B, Possolo A, Schlamming S "Shades of dark uncertainty and consensus value for the Newtonian constant of gravitation", 2019, Metrologia 56, Number 5

$$X_i = X + B_i, \quad B_i \in N(0, \sigma^2)$$

CCQM-K5. Largest consistent subset

Advantages

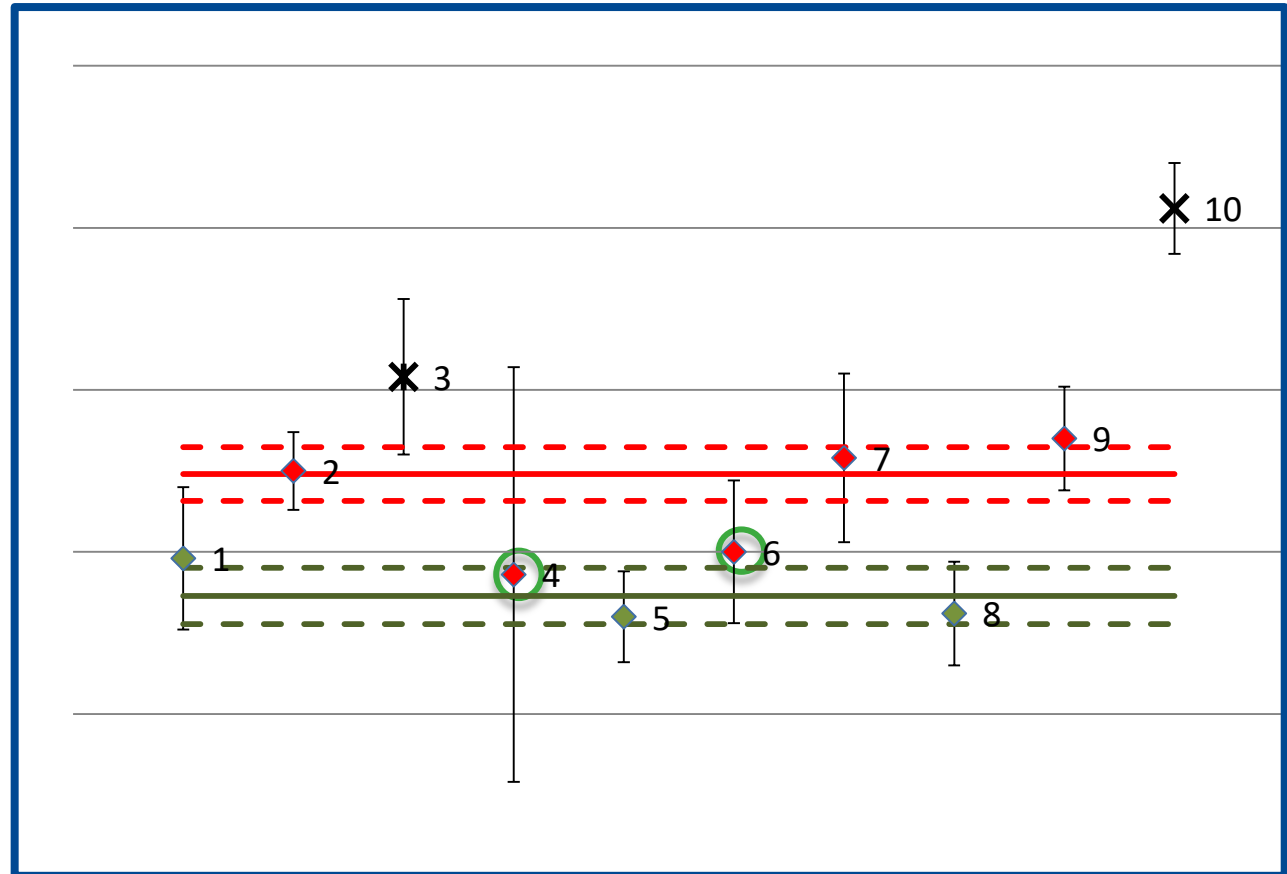
- x_{ref} is based on consistent data set
- DoEs are established according to MRA

Disadvantages

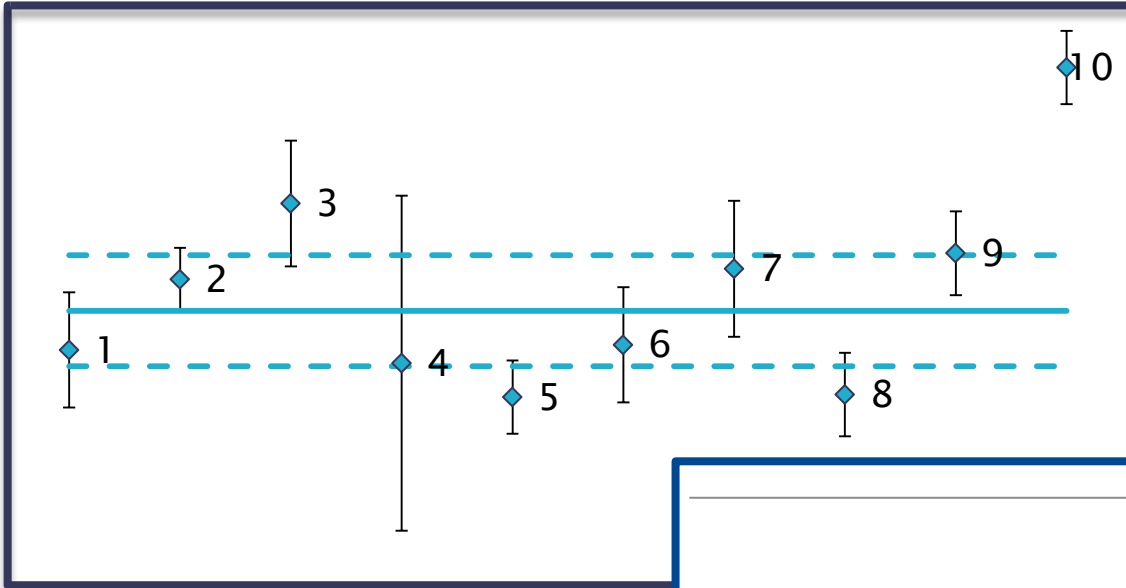
- Excluding some results
- Ambiguosness in forming LCS

Measurement model

$$X = X_i$$



CCQM-K5. Random effect model



Measurement model

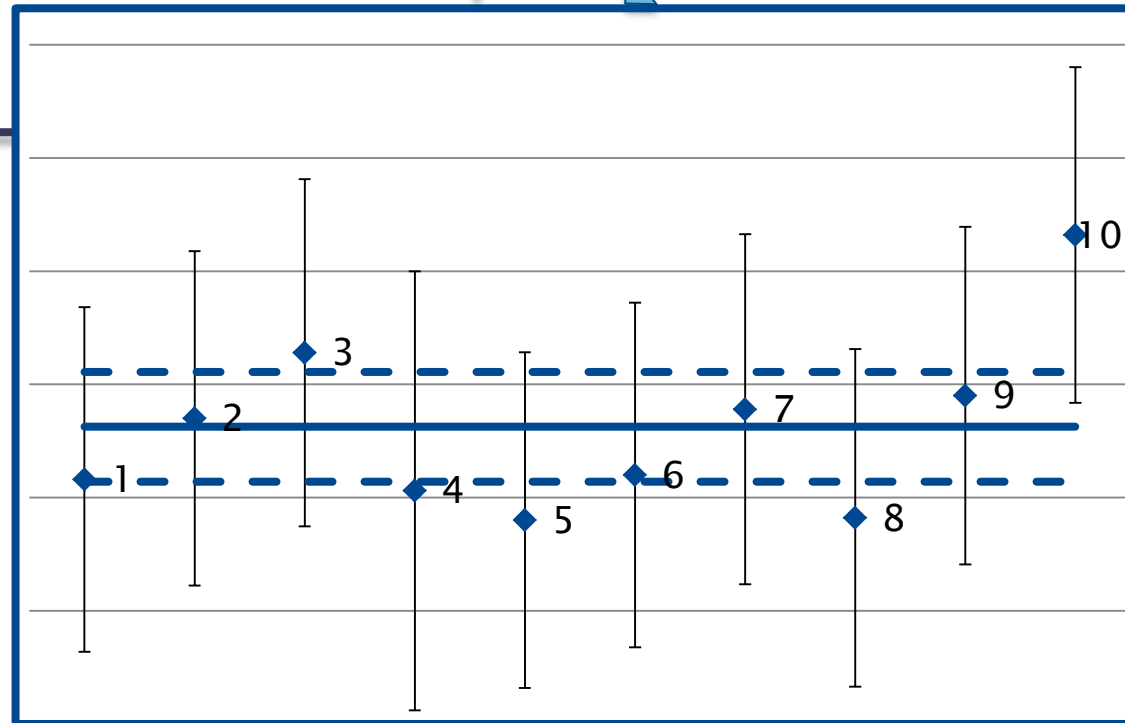
$$X = X_i + B_i, \quad B_i \in F(0, \sigma^2)$$

$$x_{ref} = \frac{\sum \frac{x_i}{u^2(x_i) + \sigma^2}}{\sum \frac{1}{u^2(x_i) + \sigma^2}}$$

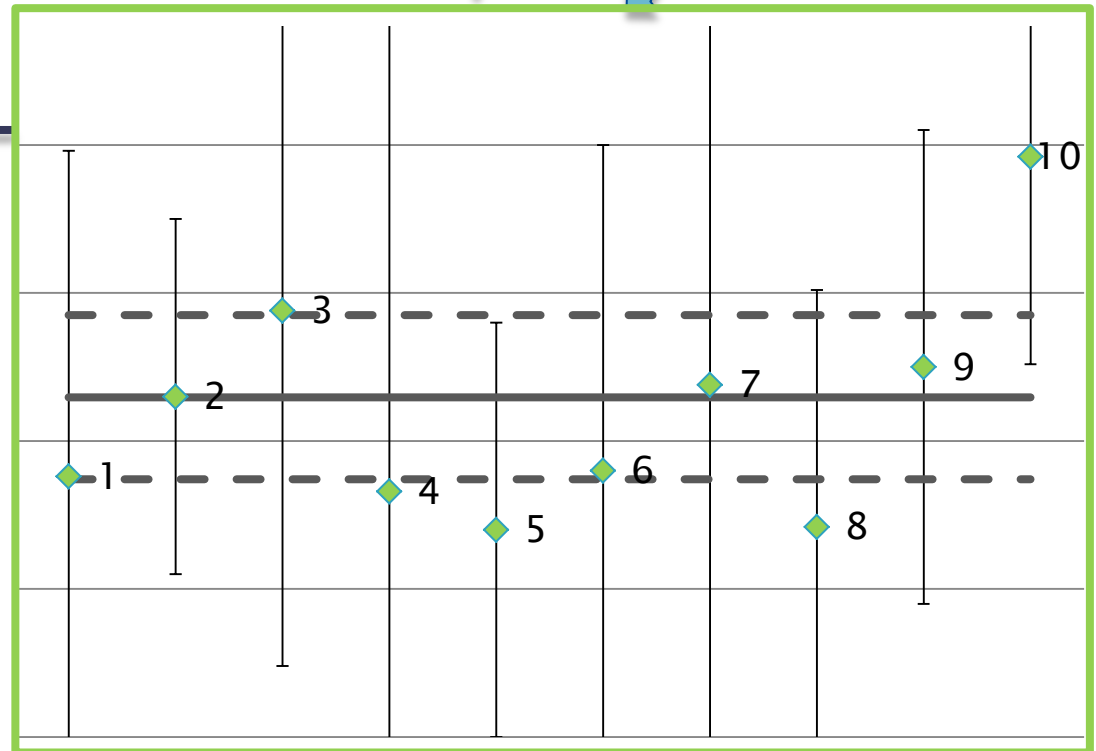
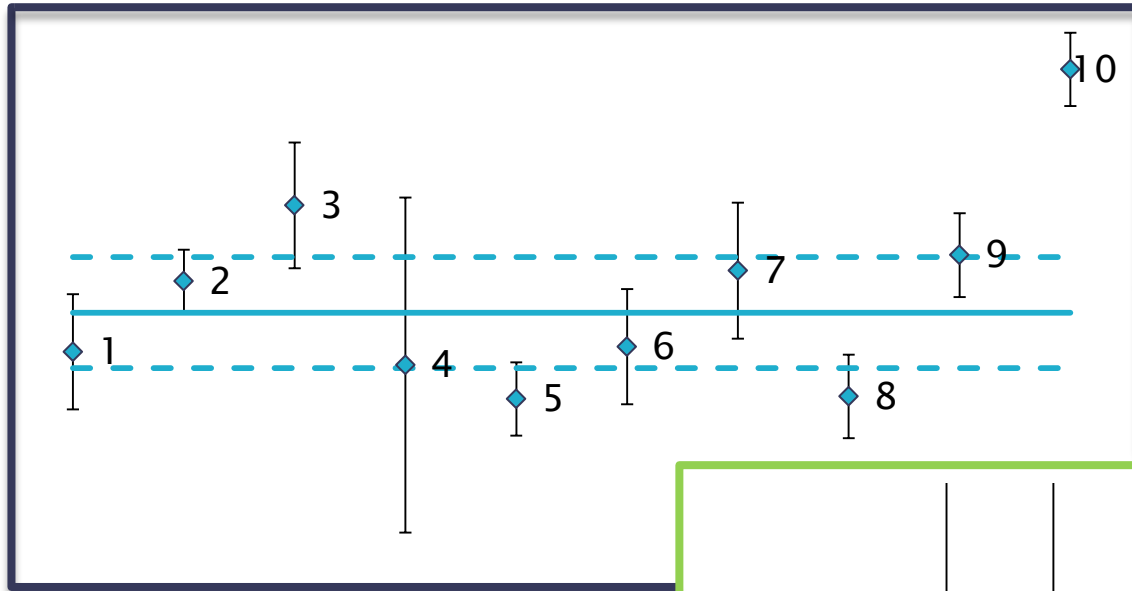
$$\tilde{u}_i^2 = u_i^2 + \sigma^2$$

Disadvantages

- Ambiguous interpretation of B_i
- Enlarging measurement uncertainties by the same additive factor σ



CCQM-K5. Birge ratio



$$r_B = 5,002$$

$$r_B^{(10)} = 2,859$$

$$r_B^{(3\&10)} = 2,520$$

Foundation of the suggested approach (MCS)

Cox M.G.

“*Evaluation of key comparison data*” *Metrologia*, 2002, 39, n°6, 589–595

“National measurement standard” is interpreted as the result of the measurement made by the respective participating national institute of a travelling standard

VIM 3

metrological compatibility of measurement results

property of a set of measurement results for a specified measurand, such that the absolute value of the difference of any pair of measured quantity values from two different measurement results is smaller than some chosen multiple of the standard measurement uncertainty of that difference

$$\{x_i, u_i\}_{i=1, \dots, n} \quad \frac{|x_i - x_j|}{2 \sqrt{u_i^2 + u_j^2}} < 1$$

Suggested approach: metrological compatible set (MCS)

Inconsistent measurement results $\{x_i, u_i\}, i = 1, \dots, n$

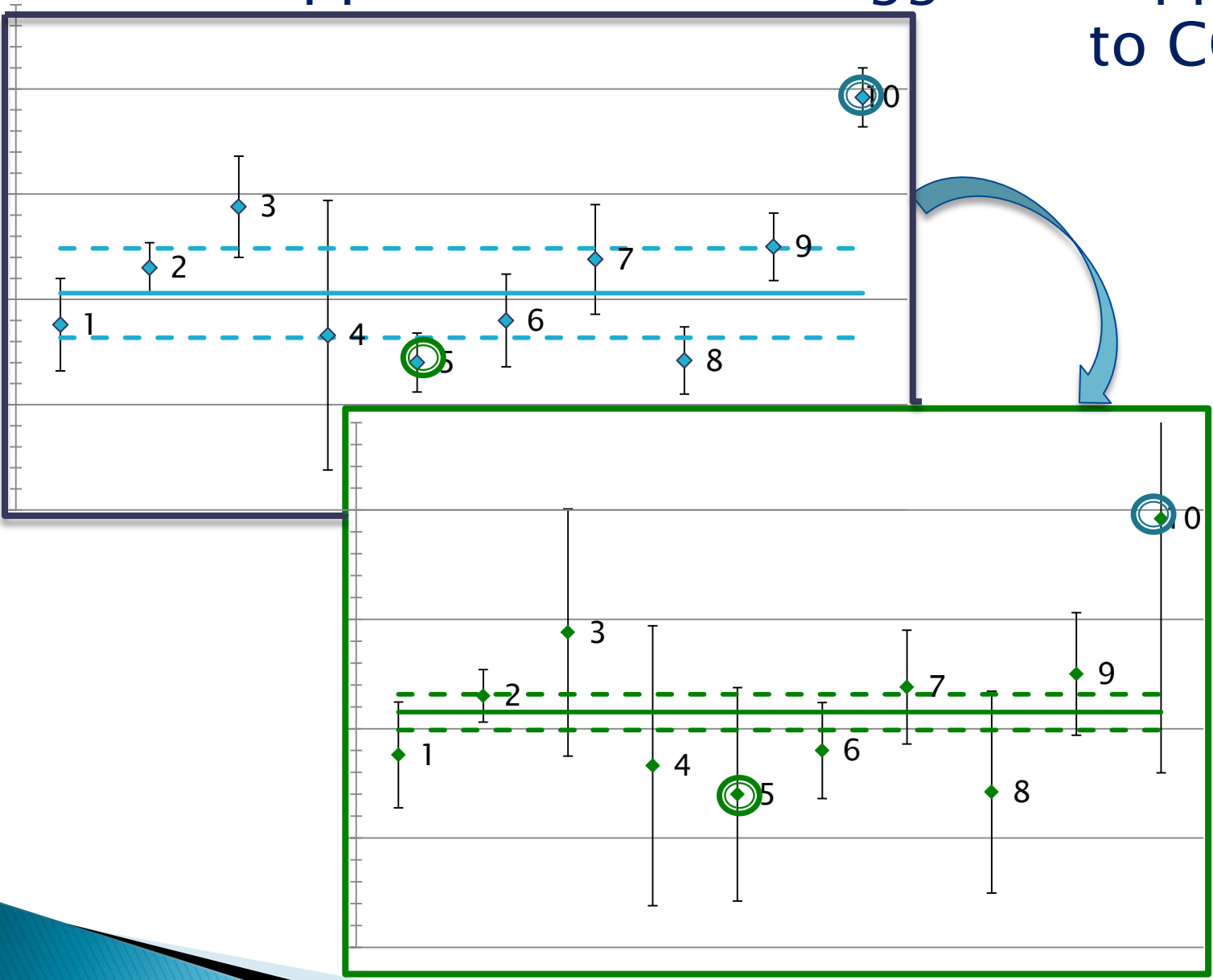
$$u_i^2 \longrightarrow \tilde{u}_i^2 = \alpha_i u_i^2$$

Compatibility of measurement results: $\{x_i, \tilde{u}_i\}$

$$|x_i - x_j| < 2\sqrt{\alpha_i u_i^2 + \alpha_j u_j^2} \quad \& \quad \alpha_i \geq 1$$

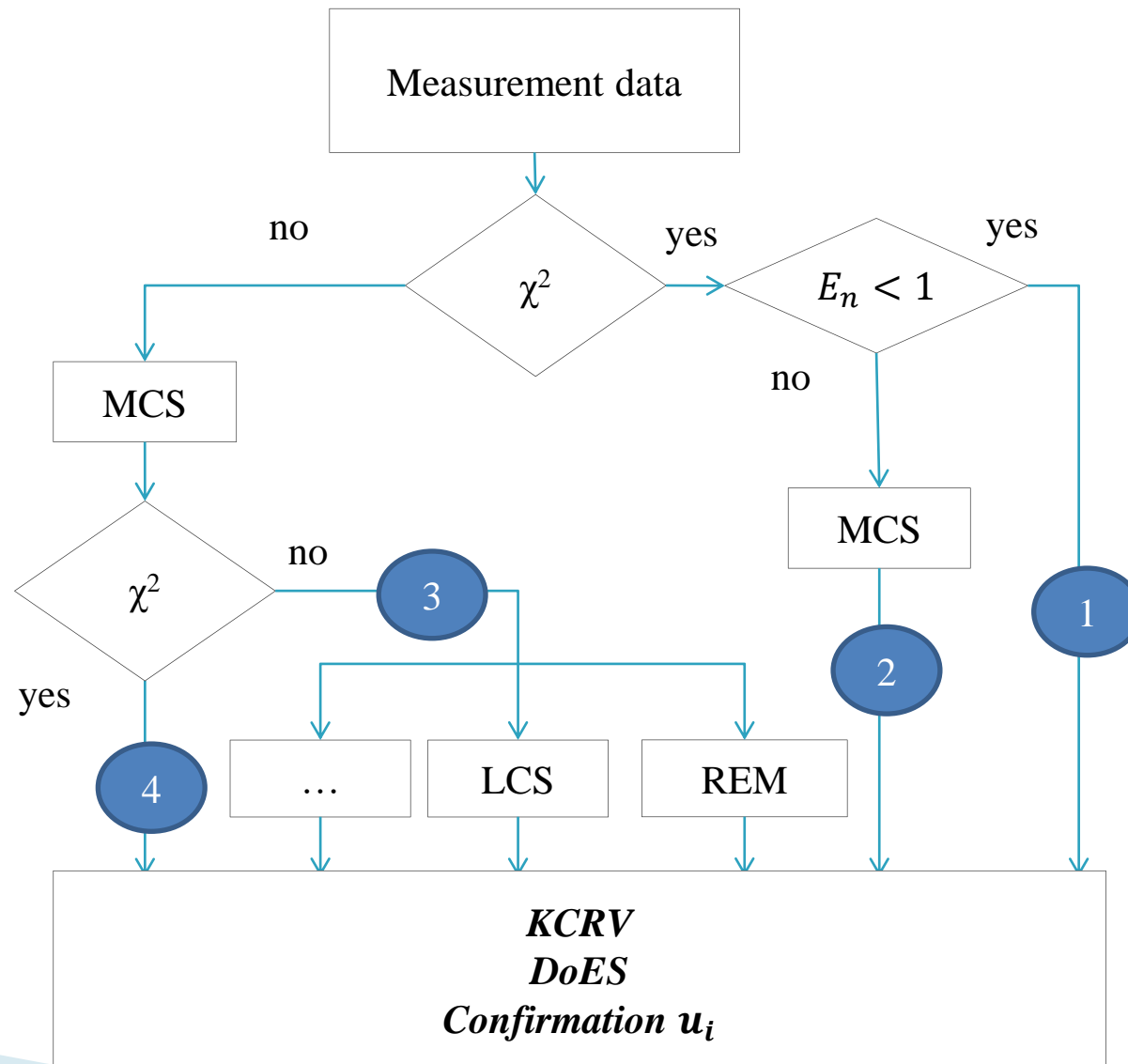
$$\min_{(\alpha_1, \dots, \alpha_n)} \sum \alpha_i u_i^2 \longrightarrow (\alpha_1^*, \dots, \alpha_n^*)$$

Application of the suggested approach to CCQM-K5



$\sqrt{\alpha_1}$	1.1
$\sqrt{\alpha_2}$	1.0
$\sqrt{\alpha_3}$	2.4
$\sqrt{\alpha_4}$	1.0
$\sqrt{\alpha_5}$	3.5
$\sqrt{\alpha_6}$	1.0
$\sqrt{\alpha_7}$	1.0
$\sqrt{\alpha_8}$	2.9
$\sqrt{\alpha_9}$	1.8
$\sqrt{\alpha_{10}}$	8.3

Proposed “decision tree” for key comparisons data evaluation





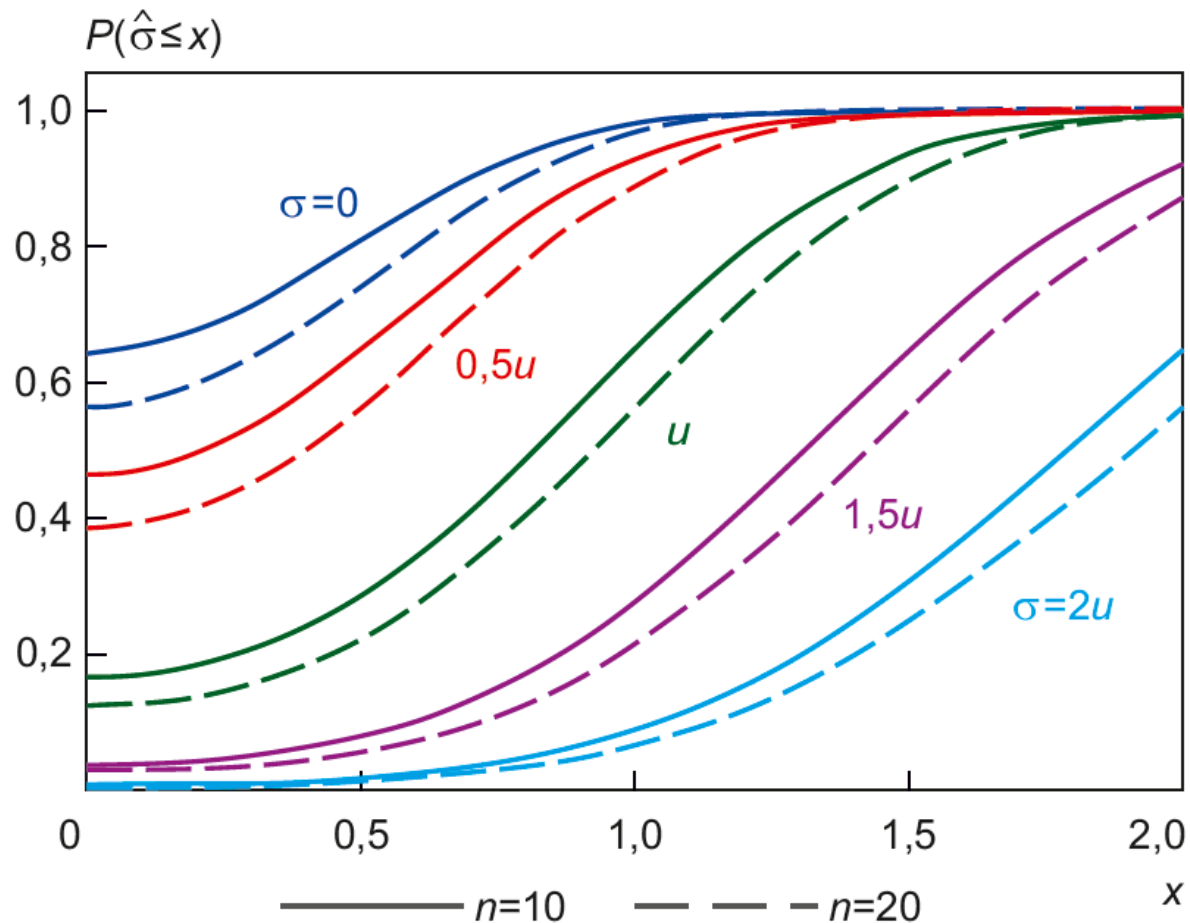
Метрологическая аттестация «dark uncertainty» алгоритма*

- установить характеристики (показатели) алгоритма (performance characteristics):
 - условную функцию распределения оценки dark uncertainty при заданном значении σ : $P(\hat{\sigma} < x | \sigma)$
 - относительное смещение оценки dark uncertainty : $\frac{E \hat{\sigma} - \sigma}{\sigma}$
 - относительное стандартное отклонение оценки dark uncertainty : $\frac{S(\hat{\sigma})}{\sigma}$;
- выбрать типовые модели исходных данных, поступающих на вход алгоритма:
 $x_i \in N(0, u_i^2 + \sigma^2)$, $0 \leq \sigma \leq 2u$, число лабораторий 5, 10, 20, 30 (кривые 1, 2, 3 и 4 на Рис. Соответственно)
- вычислить (оценить) значения характеристик алгоритма на модели исходных данных

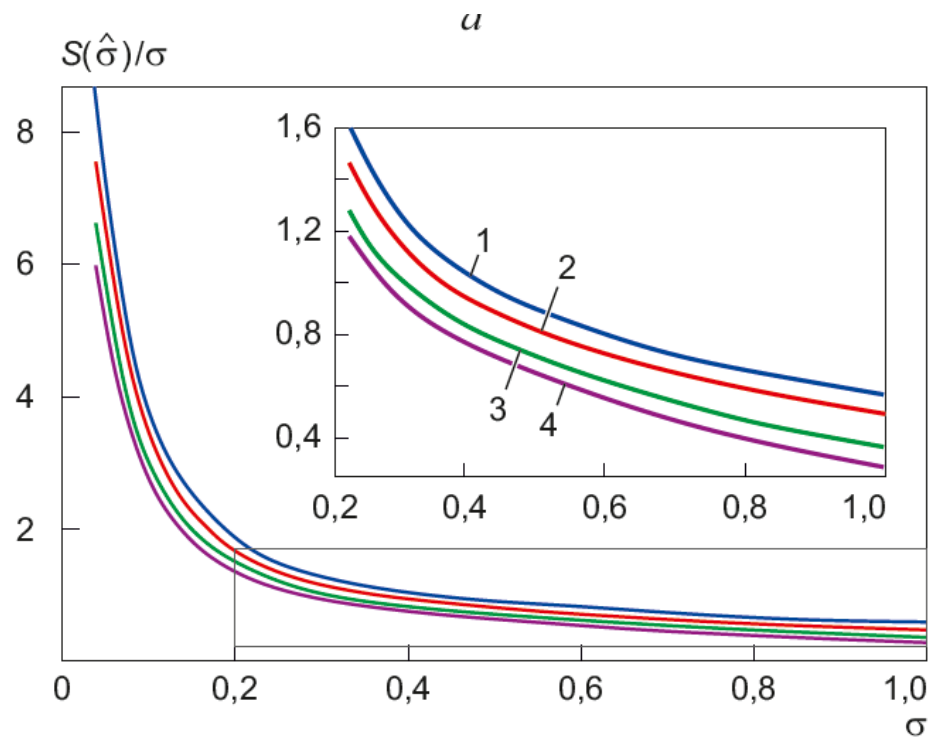
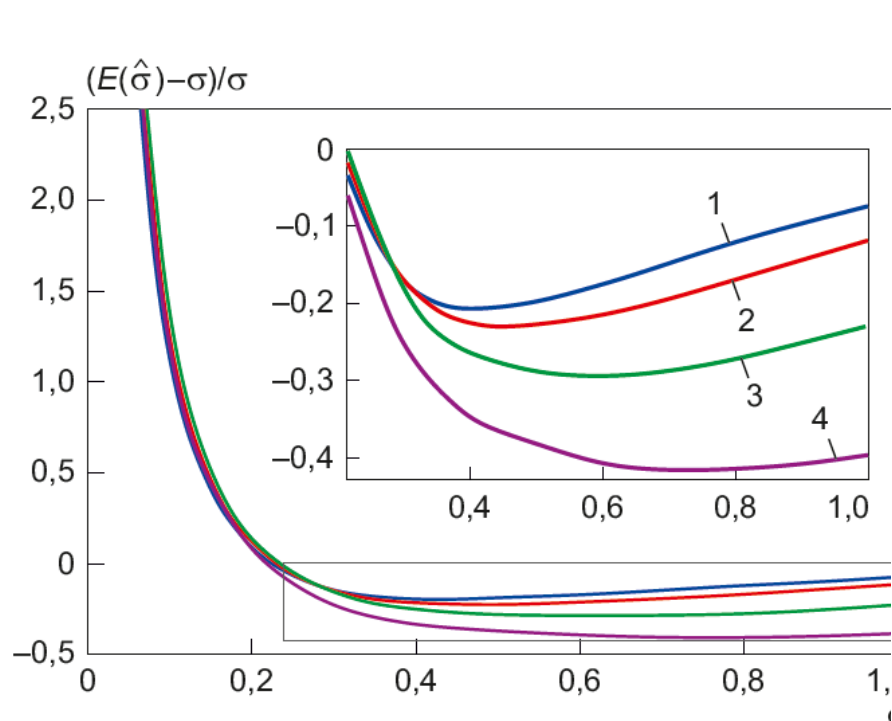
* МЕТРОЛОГИЧЕСКАЯ АТТЕСТАЦИЯ АЛГОРИТМА ОЦЕНИВАНИЯ НЕСОГЛАСОВАННЫХ ДАННЫХ КЛЮЧЕВЫХ СЛИЧЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНЫХ ЭТАЛОНОВ

Бурмистрова Н.А., Викторов И.В., Чуновкина А.Г., Измерительная техника. 2022. № 7. С. 43-48.

Условная функция распределения оценки σ



Относительное смещение и относительное СКО оценки σ





Проекты ТК1.1 КООМЕТ в области оценивания результатов сличений национальных эталонов

- **727/RU-a/17** Разработка Информационного материала КООМЕТ «Моделирование данных сличений национальных эталонов»
- **336/RU-a/05** Разработка и актуализация Рекомендации КООМЕТ "Руководства по оцениванию данных ключевых сличений КООМЕТ" (COOMET R/GM/14)«
- **302/RU-a/04** Разработка и актуализация Рекомендации КООМЕТ "Руководства по оцениванию данных дополнительных сличений КООМЕТ" (COOMET R/GM/19)

**Анкета – вопросник ?
Спасибо!**



ФГУП «ВНИИМ ИМ. Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА»

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

