

**Авторы: Собина Е.П., Аронов П. М., Мигаль П. В.,
Студенок В. В., Медведевских С. В.**



ВНИИМ

ФГУП «Всероссийский научно-
исследовательский институт
Метрологии им.Д.И.Менделеева

ВЫБОР АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ АТТЕСТОВАННОГО ЗНАЧЕНИЯ СТАНДАРТНОГО ОБРАЗЦА И ЕГО НЕОПРЕДЕЛЁННОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МЕЖЛАБОРАТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Докладчик - Е.П. Собина,
д.т.н., директор филиала



I Введение

Действующие в РФ нормативные документы по оцениванию неоднородности СО

- ГОСТ 8.532-2002 «Стандартные образцы состава веществ и материалов. Межлабораторная метрологическая аттестация».
- РАЗРАБОТАН Федеральным государственным унитарным предприятием Уральский научно-исследовательский институт метрологии Госстандарта России (ФГУП «УНИИМ»)
- Дата введения **2003-03-01**



I Введение

За рубежом используют другие методы, изложенные, например, в

- ISO 33405:2024 “Reference materials – Approaches for characterization and assessment of homogeneity and stability”
- ГОСТ ISO 13528-2024 Статистические методы. Применение при проверке квалификации посредством межлабораторного сличения
- CCQM Guidance note: Estimation of consensus KCRV and associated Degrees of Equivalence. Version: 10. Available via: <https://www.bipm.org/documents/20126/28430045/working-document-ID-5794/49d366bc-295f-18ca-c4d3-d68aa54077b5>,
- Cox MG (2007) The evaluation of key comparison data: determining the largest consistent subset. Metrologia 44(3):187-200. <https://doi.org/10.1088/0026-1394/44/3/005>
- NIST decisions tree это веб-приложение, которое позволяет проводить обработку данных международных сличений и определять опорное значение ключевых сличений. (web: decisiontree.nist.gov)

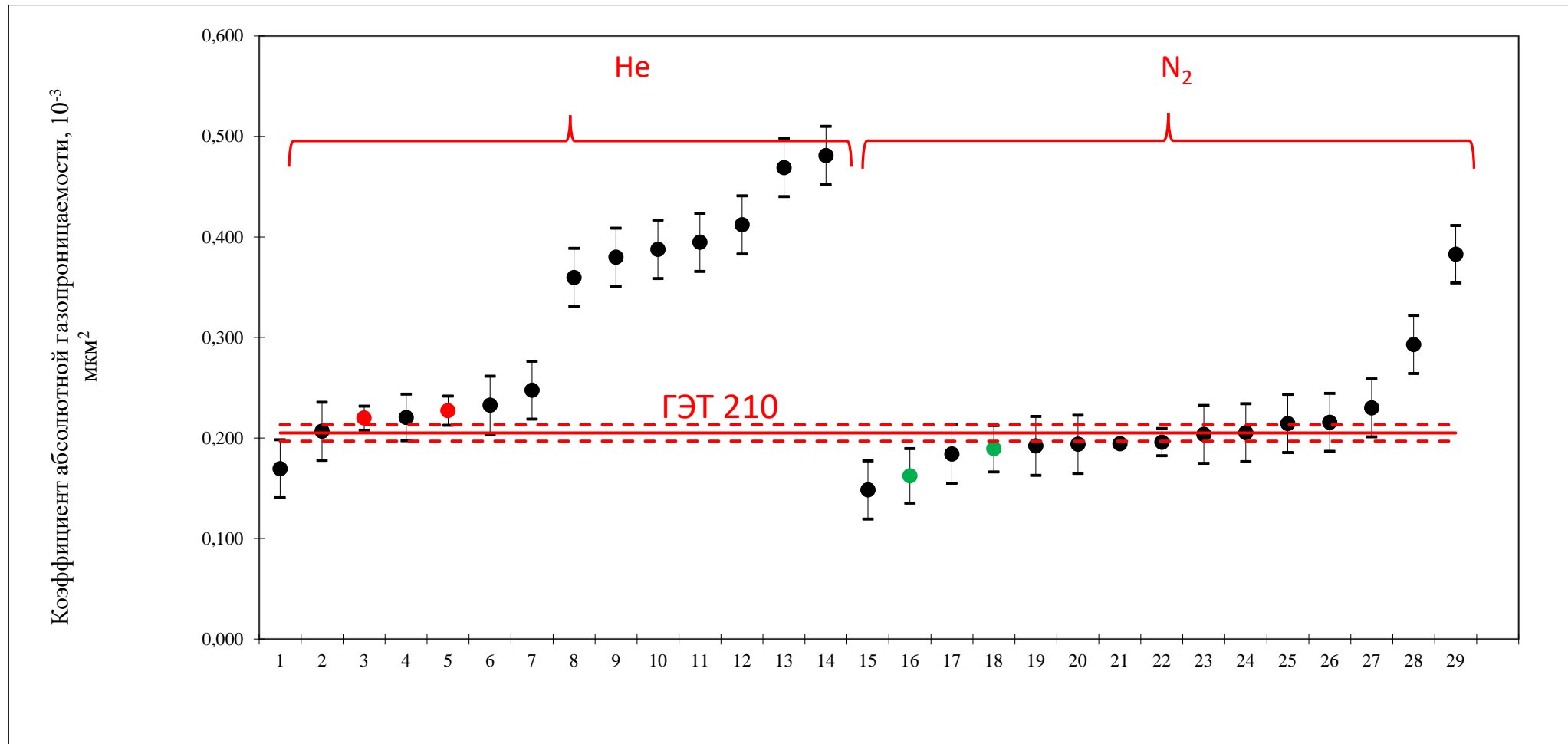


Возникает проблема обоснованного выбора метода обработки данных результатов межлабораторного эксперимента. Одним из способов обоснования выбора того или иного метода является эксперимент Монте-Карло, позволяющий сравнить результаты, которые дают различные процедуры на одних и тех же модельных данных.

II Актуальность и необходимость пересмотра ГОСТ 8.532

- априори предполагается, что результаты представляют собой выборку из нормальной генеральной совокупности, возможно засорённую выбросами;
- сведения о точности результатов, представляемых лабораториями, не всегда корректно используются или не используются совсем, что приводит к тому, что стандартная неопределённость аттестованного значения оказывается значительно меньше неопределённости отдельного результата любого участника и даже меньше основ для сравнения, которые используются отдельными участниками;
- в МЛЭ допускаются различные методы определения аттестованного значения, при реализации которых лаборатории используют различные основы для сравнения (чаще всего – СО), в итоге не представляется возможным установить до какой одной основы сравнения обеспечена прослеживаемость аттестованного значения СО.

Пример результатов межлабораторного эксперимента



III Теоретическая часть. Модель данных межлабораторного эксперимента

Данные МСИ представляют собой набор пар $\{x_i, u_i\}, i = \overline{1, N}$

где x_i - результат i -ой лаборатории,

u_i - его стандартная неопределённость, которая считается известной.

Данные моделировались следующим образом:

$$x_i = x + \Delta_i + \xi_i, i = \overline{1, n},$$

(со скрытым сдвигом)

$$x_i = x + \xi_i, i = \overline{n+1, N}$$

(без скрытого сдвига)

где x - истинное значение измеряемой величины (в эксперименте равно 100),

Δ_i - скрытый сдвиг (систематическая погрешность) результата i – ой лаборатории,

ξ_i - случайная погрешность результата i – ой лаборатории,

N - число лабораторий участников МСИ,

n - число лабораторий, имеющих скрытые сдвиги результатов.

III Теоретическая часть. Исследуемые методы обработки данных межлабораторного эксперимента

- 1) Среднеарифметическое
- 2) Медиана
- 3) Средневзвешенное
- 4) Оценка Манделя-Паула
- 5) Оценка Дер Симониан-Леирд
- 6) Робастная оценка Хьюбера
- 7) Робастная оценка по ГОСТ 50779.60 («Алгоритм А»)
- 8) Робастная оценка из ГОСТ 8.532 (Бивес-оценка)
- 9) Оценка Кокса – средневзвешенное по наибольшему согласованному подмножеству в данных**
- 10) Оценка 10 (Аронов П.М. № 1) Средневзвешенное после согласования данных путём учёта дополнительной скрытой дисперсии в данных, не входящих в наибольшее согласованное подмножество
- 11) Оценка 11 (Аронов П.М. №2) Средневзвешенное после согласования данных путём оценивания квадратов скрытых сдвигов в данных, не входящих в наибольшее согласованное подмножество и коррекции их дисперсий

Собина Е. П., Аронов П. М., Мигаль П. В., Студенок В. В., Медведевских С. В.

Измерительная техника, 74(4), 82–93 (2025). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2025-4-82-93>

III Теоретическая часть. Исследуемые методы обработки данных межлабораторного эксперимента

Алгоритм 9. Оценка М. Кокса (М. Cox)

$$\bar{x}_3 = \bar{x}_w = \sum_{i=1}^N w_i x_i$$

$$w_i = \frac{1/u_i^2}{1/\sum_{i=1}^N u_i^2}, \quad i=1, \dots, N.$$

$$\chi_{obs}^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(x_i - \bar{x}_w)^2}{u_i^2}.$$

$$\chi_{obs}^2 \leq \chi_{N-1, P}^2, \quad \bar{x}_3 = \bar{x}_9$$

$$\chi_{obs}^2 > \chi_{N-1, P}^2, \quad (x_i - \bar{x}_w)^2 / u_i^2 \rightarrow \max$$

Исключается, т.е. по сути
фильтрует выбросы

$$u(\bar{x}_3) = u(\bar{x}_9) = \sqrt{\max\left[1, \frac{\chi_{obs}^2}{N-1}\right] \frac{1}{\sum_{i=1}^N 1/u_i^2}}$$

$$\sum_{i=1}^k \frac{(x'_i - \bar{x}_{kw})^2}{u_i'^2} = \chi_{k, obs}^2 \leq \chi_{k-1, P}^2, \quad \bar{x}_9 = \sum_{i=1}^k w_i x_i,$$

$$u(\bar{x}_9) = u(\bar{x}_{kw}) = \sqrt{\max\left[1, \frac{\chi_{k, obs}^2}{k-1}\right] \left(\sum_{i=1}^k u_i'^{-2}\right)^{-1}}.$$

Собина Е. П., Аронов П. М., Мигаль П. В., Студенок В. В., Медведевских С. В.

Измерительная техника, 74(4), 82–93 (2025). <https://doi.org/10.32446/0368-1025it.2025-4-82-93>

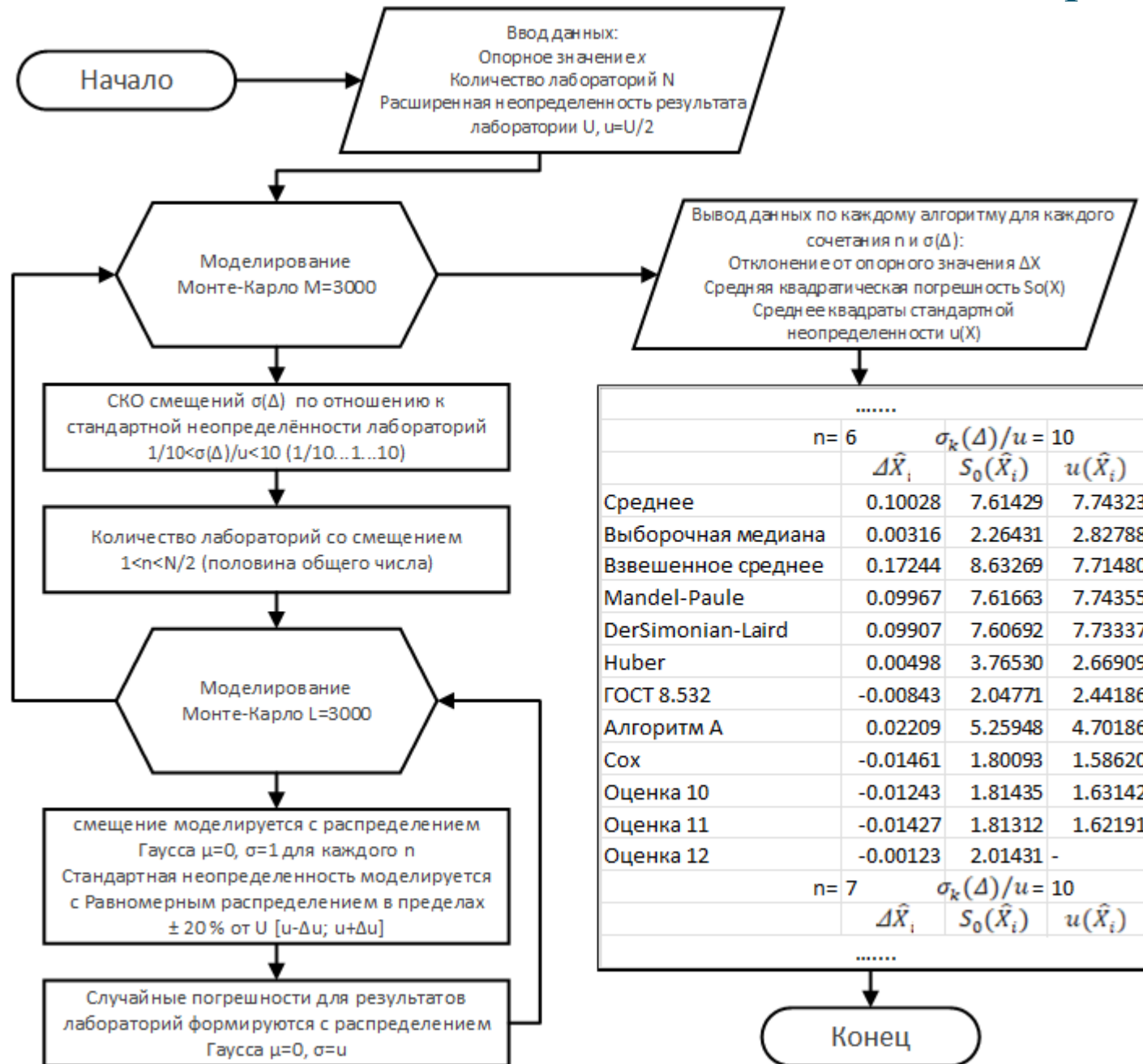
IV Экспериментальная часть. Порядок моделирование экспериментальных данных

1. При фиксированных значениях n , СКО генерируются скрытые сдвиги в части лабораторий и стандартные неопределённости для каждой лаборатории.
2. Для полученной конфигурации скрытых сдвигов и стандартных неопределённостей M раз генерируются случайные погрешности для N лабораторий и полученные модельные данные обрабатываются по алгоритмам 1–11.
3. Вычисления п. 1, п. 2 производятся L раз. Далее вычисляются средние смещения
4. Вычисления п. 1–3 выполняют для $n=1, \dots, N/2$.
5. Вычисления в п. 1–4 производятся для СКО скрытых сдвигов $\sigma_k(\Delta)=ku, k=0,1\dots1\dots10$.

Оцениваемые метрики

$$\Delta \bar{x}_i = \frac{1}{LM} \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^M (\bar{x}_{ilj} - x) \quad S_0(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{LM} \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^M (\bar{x}_{ilj} - x)^2} \quad u(\bar{x}_i) = \sqrt{\frac{1}{LM} \sum_{l=1}^L \sum_{j=1}^M u^2(\bar{x}_{ilj})}$$

IV Экспериментальная часть. Блок-схема моделирования данных



IV Экспериментальная часть. Моделирование экспериментальных данных

Входные данные:

Истинное значение измеряемой величины $X=100$

Средняя стандартная неопределенность результатов $u=5$

Разброс стандартных неопределённостей лабораторий $\Delta u=2$

Число лабораторий $N=16$

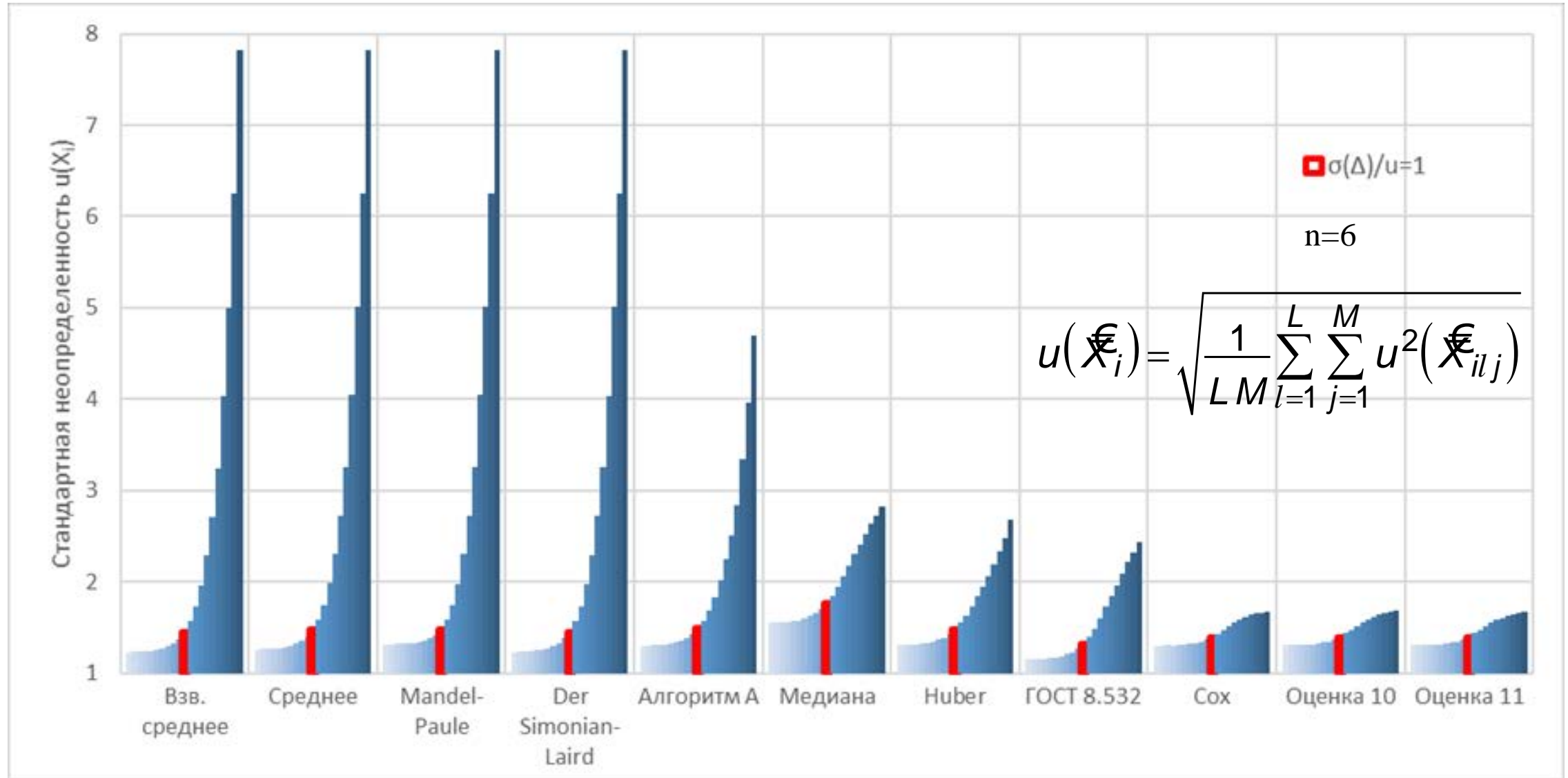
$L=M=3000$

Смещения взяты из распределения Гаусса;

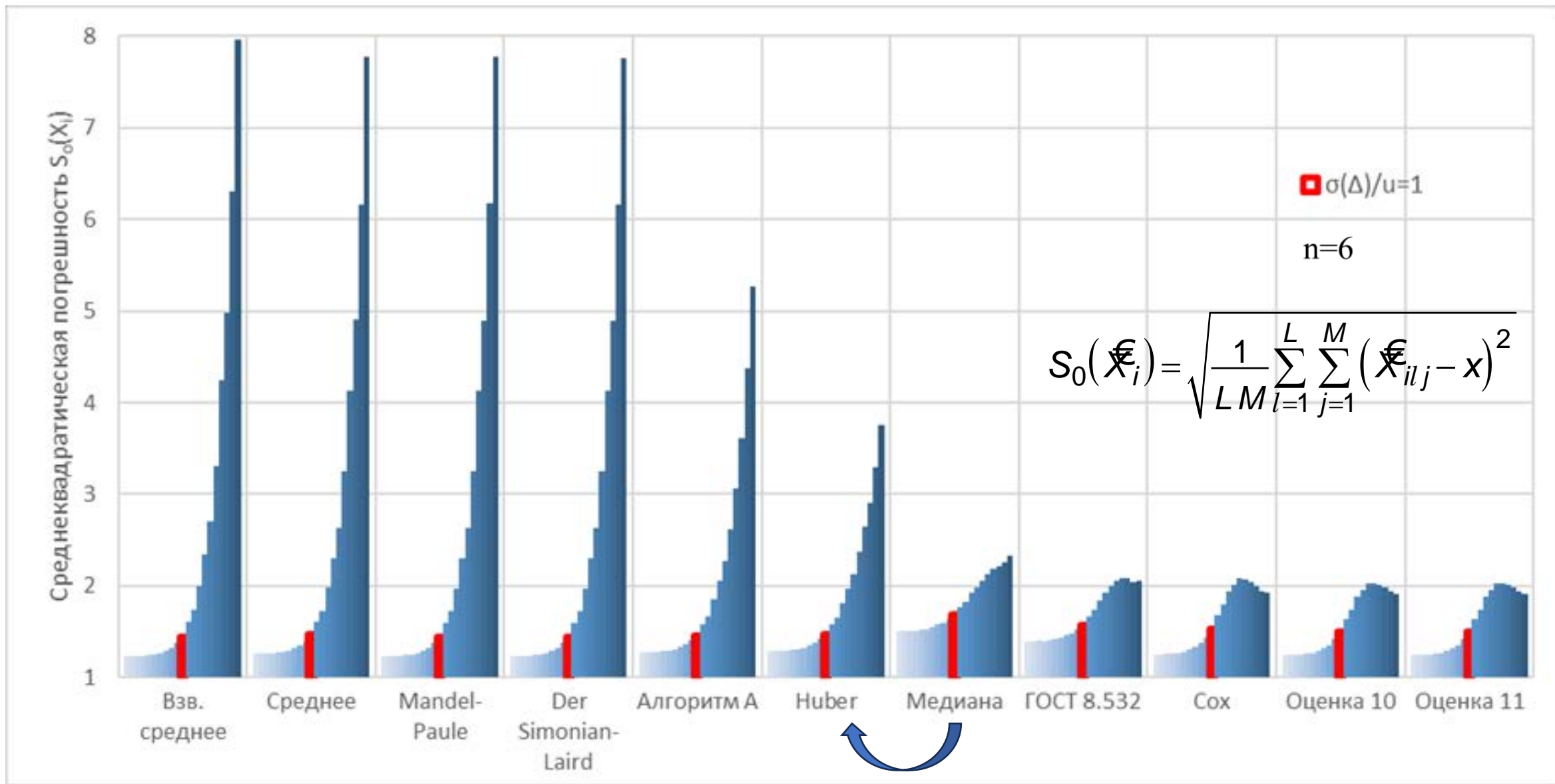
Результаты моделирования скрытых сдвигов равномерным, Гауссовым и двусторонним экспоненциальным распределениями принципиальных различий не имеют.



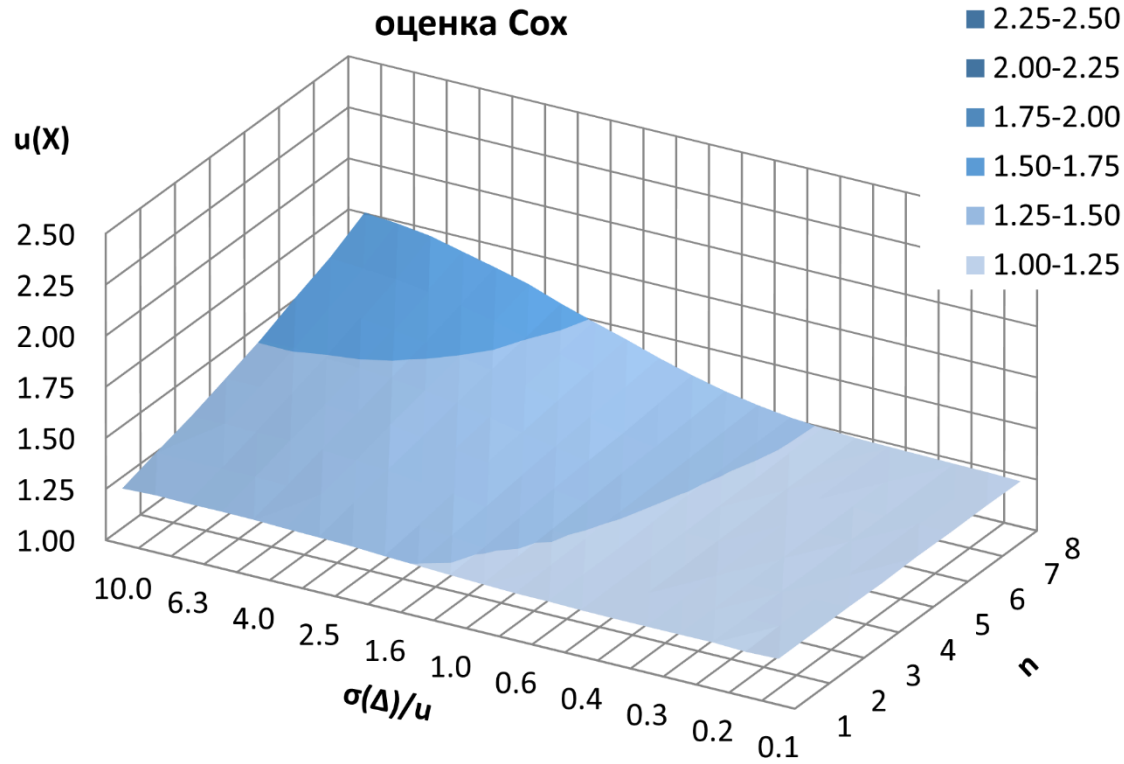
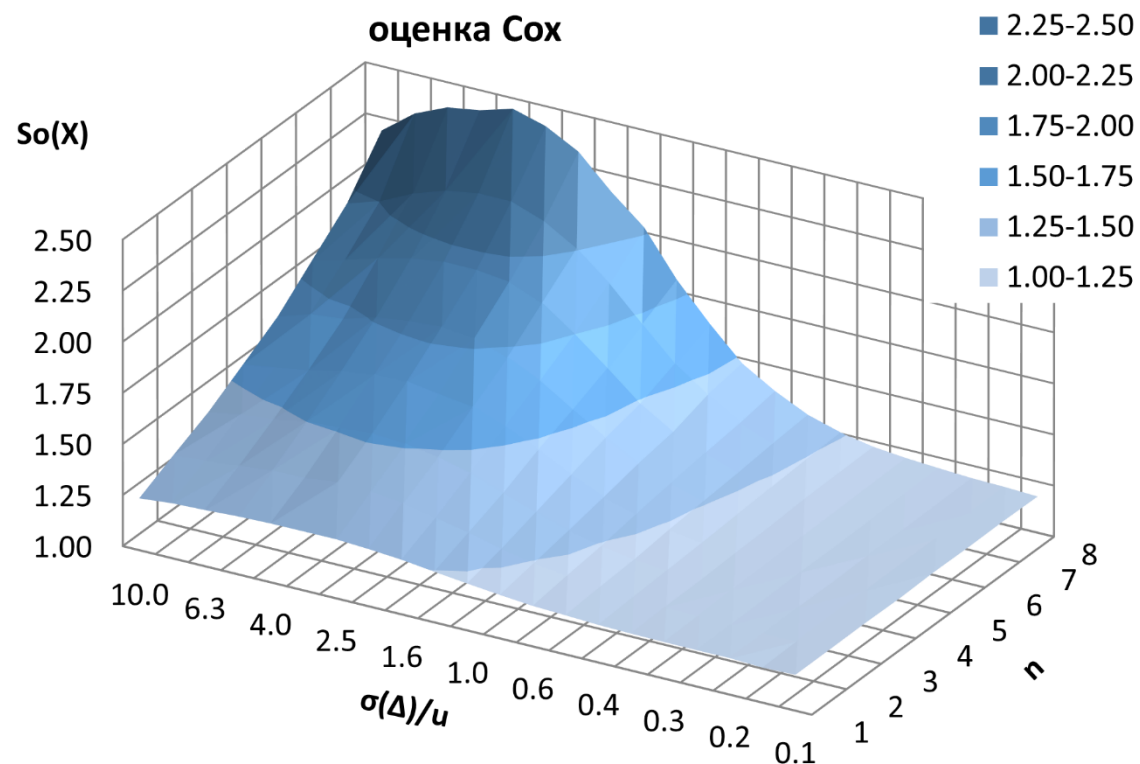
IV Экспериментальная часть. Результаты численного эксперимента методом Монте-Карло



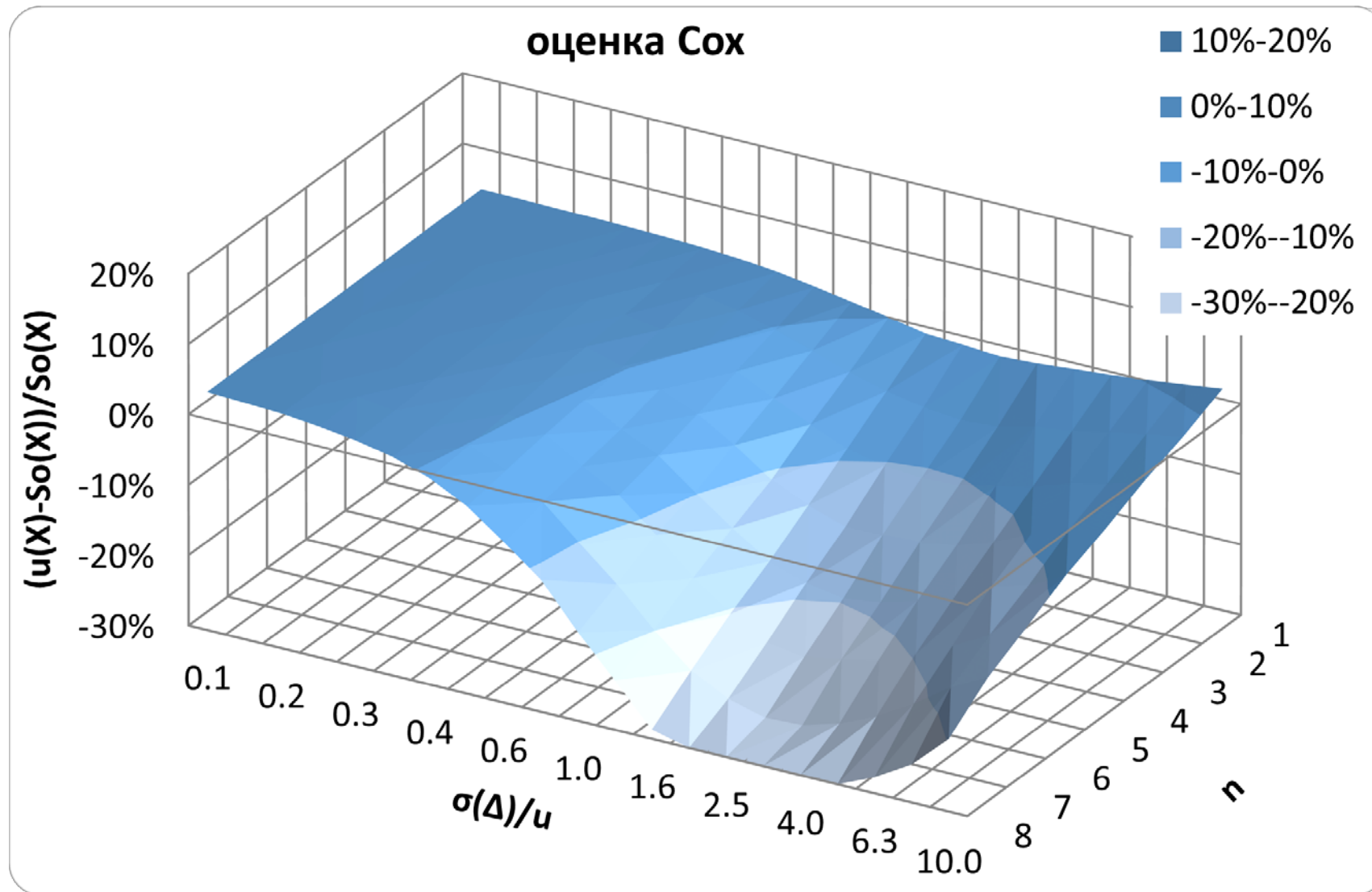
IV Экспериментальная часть. Результаты численного эксперимента методом Монте-Карло



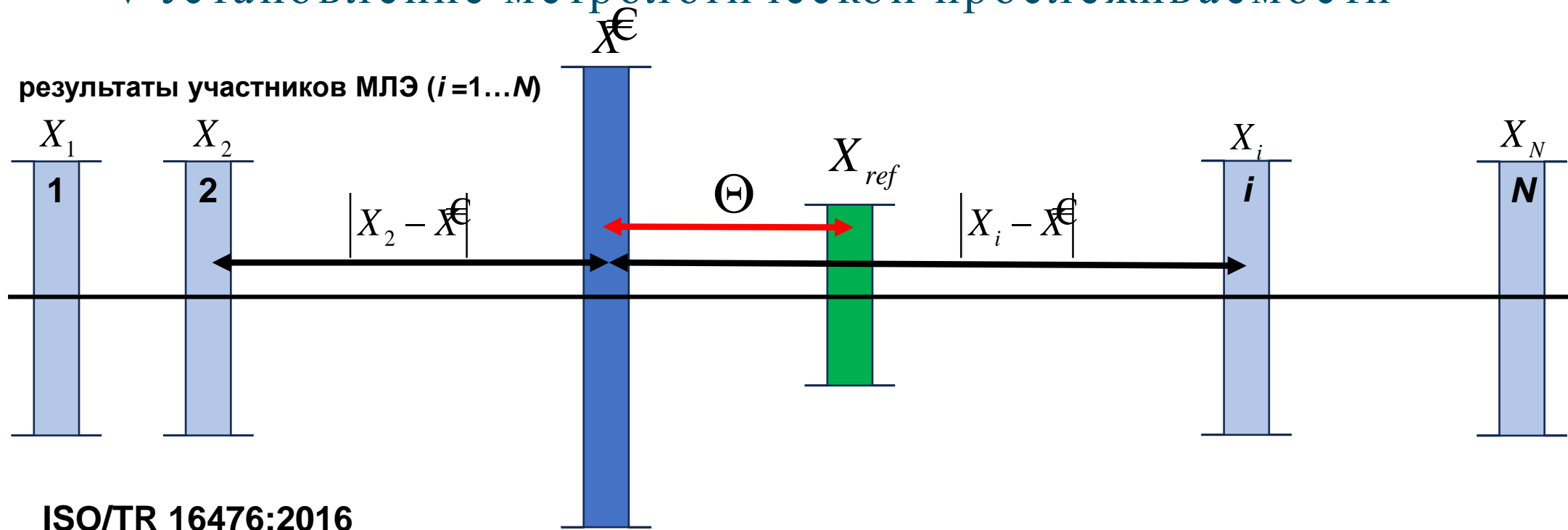
IV Экспериментальная часть. Результаты численного эксперимента методом Монте-Карло



IV Экспериментальная часть. Результаты численного эксперимента методом Монте-Карло



V Установление метрологической прослеживаемости



$$U = 2 \sqrt{u_{cert}^2 + u_{ref}^2 + \frac{(A - X_{ref})^2}{4} + u_h^2 + u_{st,l}^2 + u_{st,s}^2}$$

Заключение

1. В ходе исследования проанализированы 11 различных, в том числе 2 впервые предложенные Ароновым П.М. алгоритмов оценки аттестованного значения СО и связанной с ним стандартной неопределённости характеристики на основании результатов МЛЭ.
2. Представленные алгоритмы опробованы на модельных данных, которые сгенерированы методом Монте-Карло. С учётом данных международного ISO 33405:2024 и межгосударственного ГОСТ 8.532-2002 стандартов, а также международного опыта определения метрологических характеристик СО по результатам МЛЭ выбран алгоритм, предложенный М. Коксом (алгоритм 9).
3. Предложено методическое использование ГПЭ/ГПРМИ для установления метрологической прослеживаемости аттестованного значения СО.
4. Таким образом, для гармонизации ГОСТ 8.532-2002 и ISO 33405:2024, а также для повышения доверия к результатам определения метрологических характеристик СО в Российской Федерации на международном уровне, данный алгоритм будет использован при пересмотре ГОСТ 8.532-2002. Пересмотр этого документа запланирован на 2026 г.

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ

РСТ