

Трансформирование распределений в учебном курсе "Метрология"

Т.В. Шушкевич

Южный федеральный университет, Таганрог

Аннотация: В статье рассматриваются вопросы оценки неопределенности методом GUM и методом Монте-Карло на примере учебных измерительных процедур, а так же границы применимости методов. Приведены примеры трансформации распределений.

Ключевые слова: неопределенность измерений, трансформирование распределений, метод Монте-Карло, влияющая величина.

Согласно принятым международным стандартам и руководствам [1, 2], а так же принятым национальным (ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 "Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения" и ГОСТ Р 54500.3.1-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008/ Дополнение 1:2008 "Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло") и межгосударственным (ГОСТ 34100.3-2017/ISO/IEC Guide 98-3:2008 "Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения" и ГОСТ 34100.3.1-2017/ISO/IEC Guide 98-3/Suppl 1:2008 "Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения. Дополнение 1. Трансформирование распределений с использованием метода Монте-Карло") стандартам, результат измерений должен сопровождаться указанием характеристик точности измерений. С целью стандартизации и унификации таких характеристик были разработаны международные руководства по выражению неопределенности измерений [3].

"Guide to the expression of uncertainty in measurement" (далее – GUM) [1] было принято от имени семи международных организаций, занимающихся проблемами измерений, и со временем было принято в виде национальных стандартов и регламентов в большинстве промышленно развитых стран.

Обработка измерений в соответствии с алгоритмом GUM предполагает задание функциональной зависимости, описывающей процесс измерений, получение оценок влияющих величин, вычисление коэффициентов чувствительности по каждой величине и расчет стандартной, а в случае необходимости, расширенной неопределенности. При расчете также принимается во внимание наличие или отсутствие зависимости между входными величинами.

Строго говоря, расчет по алгоритму GUM является упрощением получения математической оценки дисперсии результирующего распределения случайных погрешностей, влияющих на результат измерений. Точный расчет алгоритм дает в случае линейной функциональной зависимости между входными величинами и результатом измерений, при условии, что все влияющие величины имеют нормальное распределение.

В практике измерений такие случаи достаточно редки [4, 5]. Кроме того, при проведении прецизионных измерений при наличии зависимых входных величин возникает проблема расчетов взаимных коэффициентов чувствительности [6, 7].

Более точную оценку интервала охвата для случая, когда влияющие величины имеют другие распределения, отличные от гауссоиды, дает метод Монте-Карло, изложенный в [2]. Метод предлагается использовать также в случае нелинейной зависимости или сложно вычисляемых аналитически коэффициентов чувствительности [8].

Метод состоит в преобразовании или, как принято в иноязычной литературе, трансформировании распределений входных величин по алгоритму, задаваемому уравнением измерения [9, 10]. Метод относится к методам численного моделирования: вначале генерируются совокупности входных величин в соответствии с приписанными им распределениями, а затем, по известной функциональной зависимости, распределения трансформируются в

выходную совокупность, для которой рассчитываются статистические характеристики.

Одной из задач любого учебного курса является наглядная демонстрация границ применимости используемых на практике методов. Для нелинейных зависимостей при малом числе входных величин методы GUM и Монте-Карло дают различные результаты при вычислении интервалов охвата выходной величины. Для демонстрации ограничений метода GUM в рамках учебного курса "Метрология" был осуществлен подбор металлических проводников круглого сечения, для которых опытным путем на основании физических измерений нескольких параметров образцов определяется удельное сопротивление.

Подобранные варианты образцов обеспечивают получение различного вида результирующих распределений в зависимости от соотношения коэффициентов чувствительности влияющих величин и их среднеквадратических отклонений. В подборке присутствуют распределения, в которых определяющей является одна величина (рис. 1), в данном случае – неопределенность измерения диаметра проводника; две величины (рис. 2) – неопределенность измерения диаметра проводника и неопределенность измерения сопротивления проводника имеют один порядок влияния; три величины (рис.3) – к значимым влияющим величинам добавляется неопределенность измерения длины. Как видно из приведенных графиков, все три распределения отличаются от нормального, который по умолчанию предполагается для алгоритма GUM.

Кроме названных параметров в анализе может присутствовать неопределенность физических констант, возникающая из-за использования конечной разрядности (или округления), а также учет личной (субъективной) составляющей, численные значения данных параметров обучающиеся должны оценить самостоятельно и использовать в расчетах.

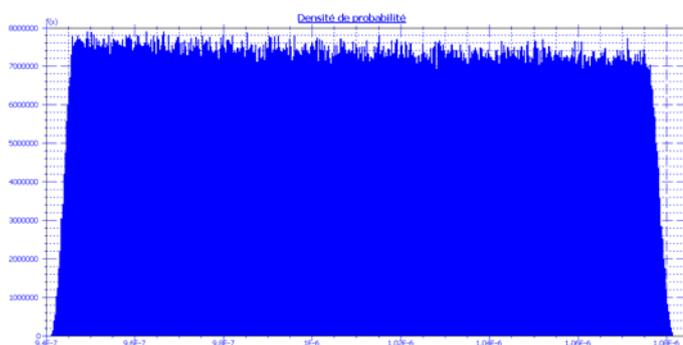


Рис. 1. – Трансформирование распределений: одна значимая величина

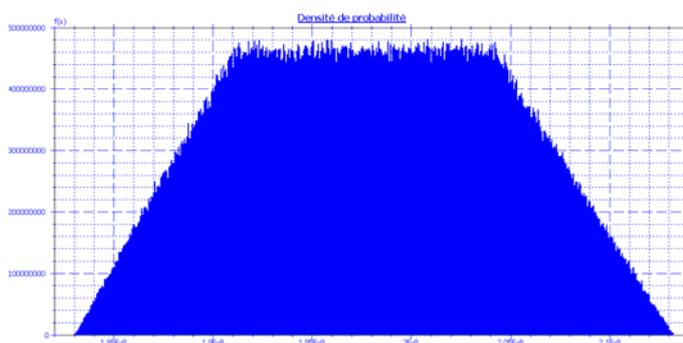


Рис. 2. – Трансформирование распределений: две значимые величины

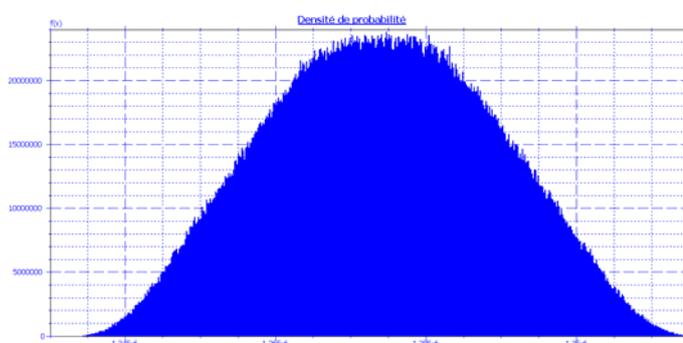


Рис. 3. – Трансформирование распределений: три значимые величины

Такие примеры позволяют наглядно продемонстрировать ограничения используемых на практике методов и оценить точность получаемых результатов измерений, используя различные международные и национальные нормативы.

Литература

1. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. URL: bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf.

2. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1. URL: bipm.org/utils/common/documents/jcgm/JCGM_101_2008_E.pdf.

3. Матвеева В.Ю. Неопределенность результатов измерений // Актуальные проблемы авиации и космонавтики, 2017. №13, том 2. С. 809-811

4. Целигоров Н.А., Целигорова Е.Н., Мафура Г.В. Математические модели неопределённостей систем управления и методы, используемые для их исследования // Инженерный вестник Дона, 2012, №4 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340.

5. Бавыкин О.Б., Беляева П.А. Обработка результатов многократных измерений в программе OpenOffice // Инженерный вестник Дона, 2017, №3 URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4351.

6. Chen B., Fei S.M. Uncertainty relations based on mutually unbiased measurements // Quantum information processing. 2015. V. 14. №6. pp. 2227-2238.

7. Brandt O., Gutierrez G., Wang M.H.L.S., Ye Z. Acceleration of matrix element computations for precision measurements // Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2015. №775. pp. 27-33.

8. Боцюра О.А., Захаров И.П. Влияние закона распределения показаний средств измерений на точность оценок неопределенности измерений // Метрология, 2016. №3. С. 12-18.

9. Шарый С.П. Интервальный анализ или методы Монте-Карло? // Вычислительные технологии. 2007. Том 12. №1. С. 103-115.

10. Кутузов О.И., Татарникава Т.М. Из практики применения метода Монте-Карло // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. 2017. №3. С. 65-70.



References

1. JCGM 100:2008. Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement. URL: bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_100_2008_E.pdf.
2. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Supplement 1. URL: bipm.org/utis/common/documents/jcgm/JCGM_101_2008_E.pdf.
3. Matveeva V.Yu. Aktual'nye problemy aviacii i kosmonavtiki, 2017. №13, part 2. pp. 809-811.
4. Celigorov N.A., Celigorova E.N., Mafura G.V. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2012, №4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4p2y2012/1340.
5. Bavykin O.B., Belyaeva P.A. Inženernyj vestnik Dona (Rus), 2017, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N3y2017/4351.
6. Chen B., Fei S.M. Quantum information processing. 2015. V. 14. №6. pp. 2227-2238.
7. Brandt O., Gutierrez G., Wang M.H.L.S., Ye Z. Nuclear Instruments and Methods in Physics Research. Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment. 2015. №775. pp. 27-33.
8. Bocyura O.A., Zakharov I.P. Metrologiya, 2016. №3. pp. 12-18.
9. Sharyj S.P. Vychislitel'nye tekhnologii. 2007. №1. pp. 103-115.
10. Kutuzov O.I., Tatarnikava T.M. Zavodskaya laboratoriya. Diagnostika materialov. 2017. №3. pp. 65-70.