

Введение в оценку неопределенности измерений

Лекция 3. Вычисление неопределенности измерений. Аналитический вывод и метод Монте-Карло. Применение неопределенности измерений для оценки соответствия. Применение метода наименьших квадратов.

Лектор

Байжұма Жандос Ескендірұлы

Тел.: +7 707 556 60 08

Email: zhandos.baizhuma@kaznu.edu.kz

Цель курса

Познакомить с методами
вычисления
неопределенности
измерений и их
практическим
применением



Основные вопросы лекции

01

Аналитический метод

Расчёт неопределенности измерений аналитическим способом

02

Закон распространения

Применение закона распространения неопределенностей

03

Метод Монте-Карло

Численное моделирование и его применение

04

Оценка соответствия

Использование неопределенности для принятия решений

05

Метод наименьших квадратов

МНК и его роль в обработке измерений

Неопределенность измерения – это общепризнанная количественная характеристика качества результата измерений согласно GUM. Любая лаборатория, выполняющая измерения, должна оценивать неопределенность и заявлять ее вместе с измеренным значением заказчику.

Аналитический метод расчёта неопределенности

Аналитические методы позволяют получить алгебраическую формулу для распределения вероятностей выходной величины без приближений, но применимы только в сравнительно простых случаях.

Линейные зависимости

Выходная величина является линейной функцией N входных величин, распределенных по нормальному или прямоугольному закону

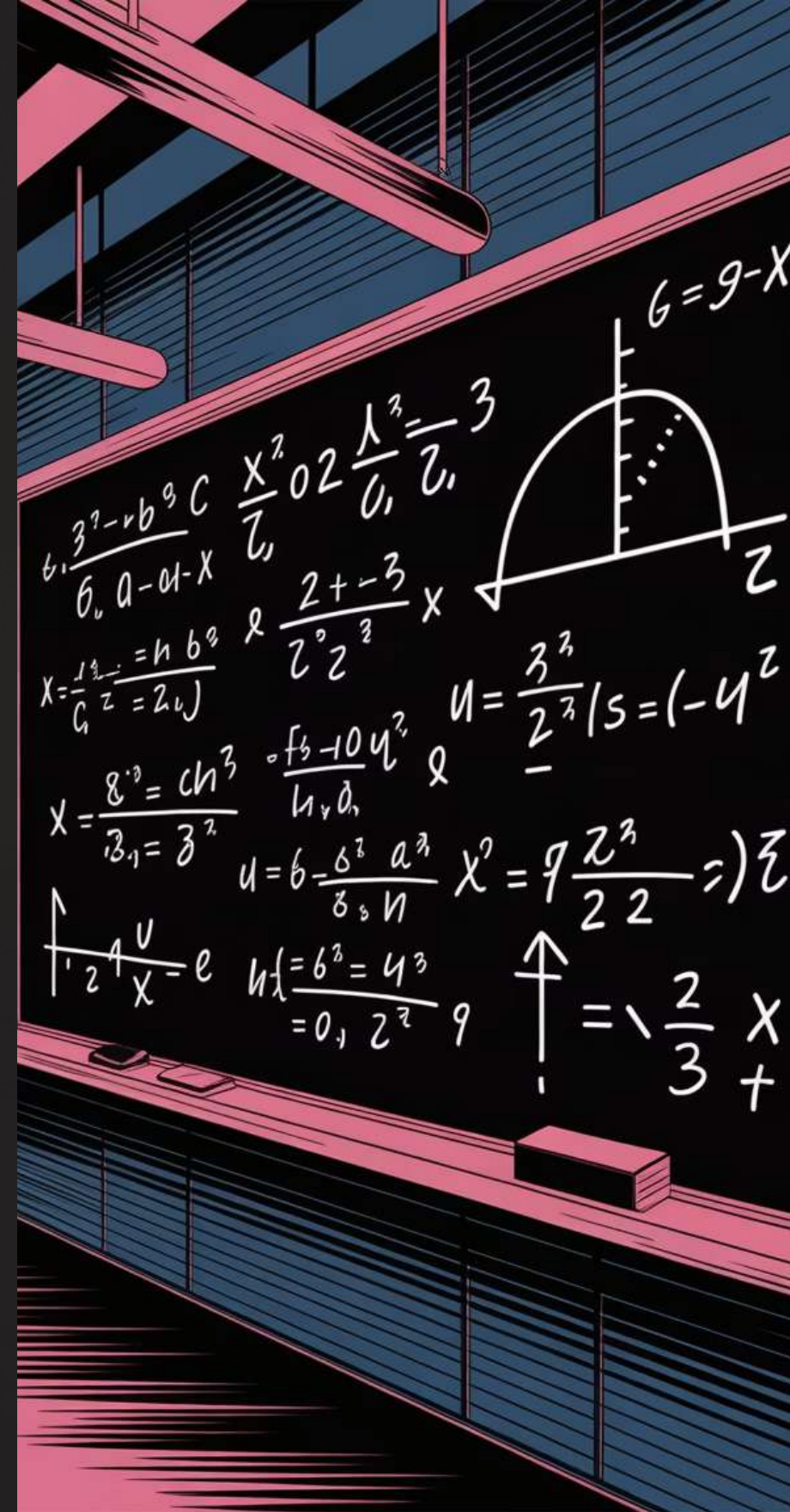
Закон распространения

Основан на законе распространения неопределенностей, используется при малых неопределенностях

Преимущества

Дает возможность понять суть измерения, показывая зависимость распределения вероятностей выходной величины от параметров входных величин

Цель расчёта неопределенности — оценить доверие к результату измерения



Метод Монте-Карло

Принцип работы

Метод основан на многократном моделировании случайных входных данных. Позволяет учитывать нелинейности и сложные распределения вероятностей.

Результат – распределение выходной величины, по которому определяют стандартную и расширенную неопределенности.



Входные данные

Случайные величины с заданными распределениями



Моделирование

Многократные испытания методом Монте-Карло



Результат

Распределение выходной величины

JCGM 101 устанавливает подробное руководство по методу Монте-Карло и адаптивную процедуру, в которой число испытаний определяется автоматически с использованием меры сходимости процесса.

Сравнение методов

Аналитический метод

- Точные алгебраические формулы
- Ограничен простыми случаями
- Линейные зависимости
- Понимание сути измерения

Метод Монте-Карло

- Численное моделирование
- Меньше ограничений
- Учет нелинейностей
- Сложные распределения

❏ **Важно:** Метод Монте-Карло может быть применен для проверки приемлемости способа оценивания неопределенности по GUM для каждого конкретного случая

Оценка соответствия на основе неопределенности

Оценка соответствия – важный аспект управления качеством производства, метрологического надзора, проверки соответствия требованиям безопасности и санитарным нормам. Измерение является неотъемлемой частью оценки соответствия.

Риск потребителя

Значение признано соответствующим требованиям, но на самом деле им не является

Риск производителя

Значение признано несоответствующим, но на самом деле требованиям удовлетворяет

Наличие неопределенности измерения влияет на процедуру контроля и делает необходимым установление баланса рисков производителя и потребителя. Если границы допуска $\geq$ неопределенности $\rightarrow$ результат достоверен; если пересекаются $\rightarrow$ требуется дополнительный анализ риска.



Метод наименьших квадратов (МНК)

Применение МНК

Метод наименьших квадратов используется для подгонки кривой под имеющиеся данные посредством подбора параметров теоретической зависимости.

Входные величины — зависимые и независимые переменные. Выходные величины — искомые параметры зависимости.



Исходные данные

Набор пар измеренных значений со стандартными неопределенностями

Измерение

Использование оценок параметров для проведения измерений

1

2

3

4

Подгонка кривой

Оценка параметров градуировочной характеристики методом МНК

Неопределенность

Вычисление стандартной неопределенности результата

Контрольные вопросы и литература

- 1 В чём суть аналитического метода вычисления неопределенности?
 - 2 Как используется закон распространения неопределенностей?
 - 3 Какие преимущества метода Монте-Карло по сравнению с аналитическим подходом?
 - 4 Как неопределенность влияет на принятие решений о соответствии результата требованиям?
 - 5 В чём заключается принцип метода наименьших квадратов?
 - 6 Как связаны результаты МНК и оценка неопределенности измерений?
-

Рекомендуемая литература

1. ISO/IEC Guide 98-3:2008 (GUM). Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement
2. JCGM 101:2008. Evaluation of measurement data – Propagation of distributions using a Monte Carlo method
3. ISO 14253-1:2017. Geometrical product specifications – Decision rules for proving conformity or nonconformity
4. Алексеев С. В. Основы метрологии и измерений. – СПб.: Питер, 2021
5. Левин В. И. Неопределенность измерений и методы её оценки. – М.: Логос, 2019
6. Кузнецов Б. А. Математическая обработка результатов измерений. – М.: Академия, 2020