Метрология и стандартизация

Лекция № 10.

СИСТЕМАТИЧЕСКИЕ ПОГРЕШНОСТИ. МЕТОДЫ ОБНАРУЖЕНИЯ И УСТРАНЕНИЯ СИСТЕМАТИЧЕСКИХ ПОГРЕШНОСТЕЙ.

Цель и результаты обучения

Цель: научить выявлять и исключать систематические погрешности и обрабатывать многократные равнорассеянные наблюдения с оценкой границ НСП.

РО 4 · ИД 4.1–4.3

Выбирает методы устранения; оценивает НСП θ и правила её суммирования; анализирует причины.

РО 3 · ИД 3.1–3.2

Применяет критерии Аббе, Вилкоксона и дисперсионный анализ (F) для выявления дрейфа и смещений между сериями.

РО 5 · ИД 5.2

Рассчитывает границы погрешности результата; записывает $X \pm \Delta$; P.

Виды систематических погрешностей

1 Метода

Неверная или упрощённая теория метода

2 Инструментальные

Погрешности СИ, схемы, изготовления, установки

3 Внешние влияния

Неучтённые влияющие величины

4 Субъективные

Особенности наблюдателя: запаздывание, отсчёт долей шкалы

5 Объекта измерения

Неустойчивые или устанавливающиеся свойства объекта

Источники: метод, прибор, среда, оператор, объект

Классификация по времени и пути уменьшения

По характеру изменения

- постоянные — неизменны в серии
- переменные — монотонные и периодические
- изменяющиеся по сложному закону

Как уменьшают влияние

1. устраняют источники до измерений
2. вводят поправки
3. оценивают границы неисключённой систематической погрешности

Устранение постоянных погрешностей

Сравнение

С результатами более точных методов и СИ

Замещение

Измеряемую величину заменяют известной

Компенсация по знаку

Два наблюдения: погрешность входит с разными знаками

Рандомизация

Разные методы, приборы, операторы: погрешности становятся случайными

Известные погрешности исключают поправками

Обнаружение переменных погрешностей

Графический

График последовательности результатов — виден тренд

Знаки отклонений

Закономерное чередование «+» и «−» указывает на систематическую составляющую

Статистические

Аббе, Вилкоксона, дисперсионный анализ (F)

Поправки вносят после обнаружения и оценки погрешности

Критерий Аббе

Статистика

$$\nu = q^2 / s^2$$

$$q^2 = \Sigma(x_{i+1} - x_i)^2 / (2(n-1))$$

$$s^2 = \Sigma(x_i - \bar{x})^2 / (n-1)$$

n	β = 0,05	β = 0,01
6	0,445	0,281
8	0,491	0,331
10	0,531	0,376
12	0,564	0,414
15	0,603	0,461
20	0,650	0,520

$\nu < \nu_{кр}(\beta, n)$ — обнаружен тренд (переменная систематическая погрешность); при независимых результатах $\nu \approx 1$

Пример: критерий Аббе

Данные

n = 10

5,01; 5,03; 5,04; 5,07; 5,08; 5,10; 5,12; 5,13; 5,16; 5,18

Результаты монотонно растут

Проверка

$\nu = q^2/s^2 = 0{,}065$

$\nu_кр(0{,}05;\ 10) = 0{,}531$

$\nu < \nu_кр \rightarrow$ обнаружен дрейф

Критерий Вилкоксона

Правило

Ранги в общем ряду; W — сумма рангов ряда с меньшим n_1

$W_н < W < n_1(n_1 + n_2 + 1) - W_н$ — различие незначимо

n_1	n_2	$\beta = 0{,}01$	$\beta = 0{,}05$
6	6	23	26
6	8	25	29
6	10	27	32
6	12	30	35

Не требует знания закона распределения. $W_н$ — по таблице для β, n_1, n_2

Пример: критерий Вилкоксона

Данные

A: 10,1; 10,3; 10,2; 10,4; 10,2; 10,3

B: 10,5; 10,4; 10,6; 10,5; 10,3; 10,7

W(A) = 23,5

Проверка

$\beta = 0{,}05$: $26 < W < 52$

$W = 23{,}5 < 26 \rightarrow$ различие значимо

$\beta = 0{,}01$: $W_н = 23$, $W = 23{,}5 > 23$ — значимо только на уровне 0,05

Дисперсионный анализ (критерий Фишера)

Статистика

$F = s^2_{мс} / s^2_{вн}$

$f_1 = s - 1$; $f_2 = N - s$

вн — внутри серий, мс — между сериями

Правило

$F > F_{кр}$ — есть систематическая погрешность, вызванная фактором, по которому делили на серии

Условия: нормальность, равные дисперсии

Пример: 5 серий по 3 результата: $F = 28{,}9 > F_{кр}(0{,}01; 4; 10) = 5{,}99$ → серии смещены

Обработка многократных наблюдений: шаги 1–6

1. Вводят поправки на известные систематические погрешности
2. $\bar{x}$ — среднее исправленных результатов
3. s_x и $s_{\bar{x}} = s_x/\sqrt{n}$
4. Проверяют нормальность: $n > 50$ — χ^2; $15 < n \leq 50$ — составной критерий; $n \leq 15$ — не проверяют
5. При нормальности исключают промахи и повторяют расчёт
6. Границы случайной погрешности $\varepsilon = t(P; n-1)\cdot s_{\bar{x}}$ при $P = 0{,}95$ (0,99)

Обработка: шаги 7–9

Шаг 7. НСП θ

$m \le 4$: $\theta = \Sigma|\theta_i|$

$m > 4$: $\theta = 1{,}1 \cdot \sqrt{\Sigma\theta_i^2}$ ($P = 0{,}95$)

Шаг 8. Сравнение

$\theta / s_{\bar{x}} < 0{,}8$ — $\Delta = \varepsilon$

$\theta / s_{\bar{x}} > 8$ — $\Delta = \theta$

Иначе: $\Delta = K \cdot S_\Sigma$; $S_\Sigma = \sqrt{(\Sigma\theta_i^2/3 + s_{\bar{x}}^2)}$; $K = (\varepsilon + \theta) / (s_{\bar{x}} + \sqrt{(\Sigma\theta_i^2/3)})$

Шаг 9: результат записывают $X \pm \Delta$; P

Пример обработки

Случайная часть

$n = 10$; $\bar{x} = 20{,}108$

$s_{\bar{x}} = 0{,}0123$

$\varepsilon = 2{,}262 \cdot s_{\bar{x}} = 0{,}028$ ($P = 0{,}95$)

Систематическая и итог

$\theta = 1{,}1 \cdot \sqrt{\Sigma \theta_i^2} = 0{,}028$

$\theta / s_{\bar{x}} = 2{,}3$ — между 0,8 и 8

$K = 2{,}07$; $\Delta = 0{,}040$

$X = 20{,}108 \pm 0{,}040$; $P = 0{,}95$

Систематические погрешности в системе РК

Алгоритм

ГОСТ 8.207-76 (межгосударственный) — проверить статус в РК

Неопределённость

GUM: тип A — $s_{\bar{x}}$; тип B — $\theta/\sqrt{3}$; $U = k \cdot u_c$

Закон № 53-II

Единство измерений, прослеживаемость, неопределённость

Лаборатории: СТ РК ISO/IEC 17025 — оценка неопределённости, учёт поправок

Заключение

1. Систематические погрешности выявляют методами сравнения, замещения, компенсации, рандомизации и статистическими критериями.

2. Аббе — тренд, Вилкоксон — сдвиг между рядами, F — влияние фактора.

3. Границы НСП и случайной части объединяют по алгоритму; результат записывают $X \pm \Delta$; P.

Вопросы для самопроверки

1. Пять видов систематических погрешностей, примеры.
2. Классификация по времени; три пути уменьшения влияния.
3. Методы устранения постоянных погрешностей.
4. Методы обнаружения переменных погрешностей.
5. Критерий Аббе: формулы и правило решения.
6. Когда применяют Вилкоксона, а когда критерий Фишера?
7. Этапы обработки наблюдений по ГОСТ 8.207.
8. Как найти θ при $m > 4$ и при каких $\theta / s_{\bar{x}}$ пренебрегают одной из составляющих?

Список источников

Нормативные

1. Закон РК от 7 июня 2000 г. № 53-II «Об обеспечении единства измерений» (по состоянию на 25.08.2026).
2. ГОСТ 8.207-76. ГСИ. Прямые измерения с многократными наблюдениями. Методы обработки результатов (проверить статус в РК).
3. JCGM 100:2008 (GUM).
4. ISO 5725-1. Точность методов и результатов измерений. Ч. 1.
5. СТ РК ISO/IEC 17025.

Учебная литература

6. Козлова Т. Н. Основы метрологии, стандартизации и сертификации. — СПб.: Лань, 2022.
7. Сергеев А. Г., Терегеря В. В. Метрология, стандартизация и сертификация. — М.: Юрайт, 2023.
8. Метрология и измерения / под ред. И. И. Акимова. — Алматы: КазНУ, 2020.