Метрология и стандартизация

Лекция № 7. Обнаружение грубых погрешностей. Уровень значимости. Критерии 3σ, Шарлье, Романовского, Диксона

Цель и результаты обучения

Цель: научить выявлять грубые погрешности статистическими критериями и обоснованно исключать промахи с учётом n и уровня значимости β.

РО 2 · ИД 2.1

Определяет промахи по критериям 3σ, Шарлье, Шовенэ, Романовского (Граббса), Диксона и МАД-тесту.

РО 2 · ИД 2.2–2.3

Отбирает однородные результаты, обосновывает исключение или повтор; оценивает точность после очистки.

РО 3 · ИД 3.1–3.2

Формулирует H_0 «промаха нет», проверяет при β; сравнивает наблюдаемое и критическое значения.

Грубая погрешность (промах)

Промах — погрешность отдельного результата в ряду, резко отличающегося от остальных при данных условиях.

Условия	Методика	Оператор
Резкие изменения условий измерения; скачки напряжения питания СИ	Нарушение методики эксперимента	Неверный отсчёт по шкале; ошибка записи результата или значения меры

Промах исключают из ряда — но только после обоснования

Условия обнаружения промахов

1

Однократное

Промах обнаружить нельзя; делают 2–3 измерения, чтобы заметить расхождение

2

Многократное

Применяют статистические критерии с учётом вида распределения

3

Однородность

Обработка корректна, если все результаты принадлежат одной генеральной совокупности

Среднее двух-трёх отсчётов не «исправляет» промах, а искажает результат

Проверка гипотезы и уровень значимости

Гипотезы

H_0: x_i не содержит грубой погрешности

H_1: x_i — промах

Уровень значимости β

Вероятность забраковать годный результат (ошибка I рода)

Обычно β = 0,05 или 0,01

Статистика критерия превышает критическое значение → H_0 отвергают, результат исключают

Правило «трёх сигм»

Критерий

$$|x^* - \bar{x}| > 3s$$

- $\bar{x}$, s — без x^*
- Нормальный закон; n = 20…50

Интервал	Вероятность
a ± σ	0,6827
a ± 2σ	0,9545
a ± 3σ	0,9973

Вне ±3σ лежит 0,0027. Для больших n границу ужесточают: 6 < n ≤ 100 — 4s; 100 < n ≤ 1000 — 4,5s; 1000 < n ≤ 10000 — 5s

Критерии Шарлье и Шовенэ

Шарлье (n > 20)

$2\Phi(K) = (n - 1)/n$

$|x^* - \bar{x}| > K \cdot s$

Шовенэ (малые n)

$2\Phi(K) = (2n - 1)/(2n)$

$|x^* - \bar{x}| > K \cdot s$

n	K (Шарлье)	K (Шовенэ)
10	—	1,96
25	2,05	2,33
100	2,58	2,81

Критерии Романовского и Граббса

Граббс (Смирнов), n < 20

$G = |x^* - \bar{x}| / s$

$G > G_кр \rightarrow$ промах

Романовский, n < 20

$\beta = |x^* - \bar{x}| / s$

($\bar{x}$, s без x^*)

$\beta > \beta_т(\beta, n) \rightarrow$ промах

n	5	8	10	15	20
G_кр	1,715	2,126	2,290	2,549	2,709

G_кр — двусторонний, уровень значимости 0,05

МАД-тест

Без знания закона

МАД = med|x_i − Me|

Медиана и МАД устойчивы к выбросам

Критерий

z = |x* − Me| / (1,4826·МАД)

z > 3…3,5 → промах

Эквивалентно |x* − Me|/МАД > 4,4…5,2; порог 5 из исходной лекции ≈ 3,4σ

Вариационный критерий Диксона

n	Статистика	Формула
3–7	r_{10}	$(x_n - x_{n-1})/(x_n - x_1)$
8–10	r_{11}	$(x_n - x_{n-1})/(x_n - x_2)$
11–13	r_{21}	$(x_n - x_{n-2})/(x_n - x_2)$
14–25	r_{22}	$(x_n - x_{n-2})/(x_n - x_3)$

Ряд упорядочивают; r > r_кр(n, q) → x_n — промах. Для x_1 формулы зеркальны

Пример проверки

Дано

$n = 8$, $\beta = 0{,}05$

10,1; 10,2; 10,1; 10,3; 10,2; 10,1; 10,2; 11,0

Сомнительный $x^* = 11{,}0$

$\bar{x} = 10{,}275$; $s = 0{,}301$

Проверка

Граббс: $G = 0{,}725/0{,}301 = 2{,}41 > 2{,}126$

Диксон: $r_{11} = 0{,}7/0{,}9 = 0{,}78 > 0{,}554$

Оба критерия: 11,0 — промах. Без него $\bar{x} = 10{,}17$

Правила отбраковки

1

Только по одному

Проверяют самое сомнительное значение, затем пересчитывают $\bar{x}$ и s

2

Не «подгонять»

Нельзя отбрасывать лишь неудобные, но допустимые результаты

3

Сомнение — повтор

Добавляют новые измерения, а не заменяют сомнительные

Если пришлось исключить много данных — ряд неудовлетворителен, эксперимент повторяют

Грубые погрешности в системе РК

Закон № 53-II

Единство измерений: достоверность результатов — обязанность субъектов измерений

СТ РК ISO/IEC 17025

Лаборатория обеспечивает достоверность результатов и ведёт записи

ISO 5725-2, ISO 16269-4

Критерии Граббса, Кохрана; выбросы

Исключение результата — документировать: критерий, β, значение статистики

Заключение

1. Промах исключают только по обоснованному критерию при заданном β.

2. Выбор критерия зависит от n: 3σ и Шарлье — большие ряды, Граббс/Романовский, Шовенэ и Диксон — малые; МАД — без знания закона.

3. После очистки пересчитывают $\bar{x}$, s и доверительный интервал.

Вопросы для самопроверки

1. Что такое промах и каковы причины его появления?
2. Почему промах не обнаружить при однократном измерении? Что такое однородность?
3. Сформулируйте H_0 и смысл уровня значимости β.
4. Правило 3σ: вероятности ±1σ, ±2σ, ±3σ, область применения.
5. Когда применяют критерий Шарлье? Как найти K?
6. Для чего МАД-тест и каков порог?
7. Алгоритм критериев Романовского/Граббса и Шовенэ при $n < 20$.
8. Как работает критерий Диксона? Как формула меняется с n?
9. Правила отбраковки; что делать, если промахов много?

Список источников

Нормативные

1. Закон РК от 7 июня 2000 г. № 53-II «Об обеспечении единства измерений» (по состоянию на 25.08.2026).
2. СТ РК ISO/IEC 17025. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий.
3. ISO 5725-2 (СТ РК ИСО 5725-2). Точность методов и результатов измерений. Ч. 2.
4. ISO 16269-4. Statistical interpretation of data — Detection and treatment of outliers.
5. JCGM 100:2008 (GUM).

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. Кремер Н. Ш. Теория вероятностей и математическая статистика. — М.: Юрайт, 2024.
9. Метрология и измерения / под ред. И. И. Акимова. — Алматы: КазНУ, 2020.