

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
«Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического  
приборостроения»

## Методы и средства измерений

Практическое задание

Составитель:  
доцент каф. №6  
Ефремов Н.Ю.

Санкт-Петербург  
2021

## Оценка составляющих погрешности и неопределенности измерений при многократных измерениях

Порядок выполнения задания:

- Подготовить расчетный файл в MS Excel (по алгоритму в образце);
- Рассчитать составляющие погрешности и неопределенности измерений (по образцу);
- Заполнить таблицы с оценками составляющих (как табл. 4-6 в образце);
- Построить графики изменения суммарной погрешности и расширенной неопределенности от номинала измеряемого параметра;
- В отчете все таблицы и рисунки должны быть пронумерованы, и на них должна быть ссылка из текста (поэтому нужно в тексте привести краткие комментарии по порядку расчетов).

Подсказка по определению параметра  $\Theta$ : он приведен в описании типа на каждый СИ (все описания собраны в отдельной папке, по всем СИ класс точности - 1).

Структура отчета:

- Титульный лист;
- Содержание;
- Исходные данные по варианту
- Краткая информация о СИ и его метрологических характеристиках;
- Скриншоты из расчетного файла (как в примере-образце);
- Таблицы (как 4-6 в образце);
- График и его краткий анализ.

### Исходные данные

Объект – измерительный инструмент: штангенциркули, микрометры различных типов.

При калибровке измерялись концевые меры длины (наборы из двух мер) различного номинала.

- Штангенциркуль ШЦ-I-125-0,05 (варианты 1-3)

вариант	№ измерения	Номинал концевой меры (набора мер), мм									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1	1	10,05	20,05	30,00	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	90,00	100,00
	2	10,00	20,00	30,00	40,00	50,10	60,00	70,00	80,00	90,00	100,05
	3	9,95	19,95	29,95	40,00	49,95	60,10	70,00	80,00	89,95	99,95
	4	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	5	10,05	20,10	30,05	40,10	50,10	60,10	70,10	80,10	90,05	100,05
	6	10,05	20,05	30,05	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	90,05	100,05
	7	9,95	19,9	29,95	39,9	50,05	60,15	70,00	80,05	99,95	99,95
	8	9,9	19,9	29,9	39,95	49,95	60,00	70,10	79,95	89,9	99,95
	9	10,05	20,05	30,05	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	90,05	100,05
	10	10,00	20,00	30,05	40,10	50,00	60,00	70,10	80,10	90,05	100,15
	11	10,05	20,00	30,00	40,00	50,15	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	12	10,00	20,00	30,00	40,05	50,00	60,00	70,05	80,05	90,00	100,10
2	1	10,00	20,05	30,05	40,05	50,05	60,05	70,00	80,05	90,05	100,05
	2	10,05	20,05	30,05	39,95	50,05	60,00	69,95	80,00	90,05	100,05
	3	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	4	10,05	20,05	29,95	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	89,95	99,95
	5	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	6	9,95	20,00	30,00	40,00	50,00	60,10	70,00	80,00	90,00	100,05

	7	9,95	19,95	29,95	39,95	50,15	59,95	69,95	79,95	89,95	99,95
	8	10,00	20,10	30,10	40,10	50,10	60,10	70,10	80,10	90,10	100,10
	9	10,00	20,00	30,05	40,00	50,00	60,00	70,00	80,05	90,05	100,15
	10	10,05	20,05	30,05	40,10	50,05	60,05	70,10	80,15	90,05	100,05
	11	10,10	20,15	30,10	40,10	50,15	60,15	70,10	80,10	90,10	100,10
	12	10,00	20,00	30,00	40,10	50,00	60,00	70,10	80,10	90,00	100,00
3	1	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	2	10,05	20,10	30,10	40,10	50,10	60,10	70,10	80,10	90,10	100,10
	3	10,05	20,05	30,00	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	90,00	100,00
	4	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	5	9,95	19,95	29,95	39,95	50,05	59,95	70,05	80,10	89,95	100,05
	6	9,95	19,90	29,90	39,90	49,90	60,10	69,95	79,95	89,90	99,90
	7	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	8	10,05	20,05	30,05	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	90,05	100,05
	9	10,00	20,00	30,10	40,00	50,00	60,00	70,00	80,10	90,10	100,10
	10	9,90	19,95	29,95	39,95	49,95	59,95	69,95	79,95	89,95	99,95
	11	10,10	20,05	30,05	40,05	50,05	60,05	70,05	80,05	90,05	100,05
	12	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	30,00	100,10

- Штангенциркуль ШЦ-II-160-0,1 (варианты 4-6)

вариант	№ измерения	Номинал концевой меры (набора мер), мм									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
4	1	10,1	20,1	30,0	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,0	100,0
	2	10,0	20,0	30,0	40,0	50,1	60,0	70,0	80,0	90,0	100,1
	3	9,9	20,0	30,0	40,0	50,0	60,1	70,0	80,0	90,0	100,0
	4	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0

	5	10,2	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	6	10,1	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	7	9,9	19,9	30,0	39,9	50,1	60,2	70,0	80,1	100,0	100,0
	8	9,9	19,9	29,9	40,0	50,0	60,0	70,1	80,0	89,9	100,0
	9	10,1	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	10	10,0	20,0	30,1	40,1	50,0	60,0	70,1	80,1	90,1	100,2
	11	10,0	20,0	30,0	40,0	50,2	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	12	10,1	20,0	30,0	40,1	50,0	60,0	70,1	80,1	90,0	100,1
5	1	10,0	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,0	80,1	90,1	100,1
	2	10,1	20,1	30,1	40,0	50,1	60,0	70,0	80,0	90,1	100,1
	3	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	4	10,0	20,1	30,0	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,0	100,0
	5	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	6	9,9	20,0	30,0	40,0	50,0	60,1	70,0	80,0	90,0	100,1
	7	9,9	20,0	30,0	40,0	50,2	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	8	10,0	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	9	10,0	20,0	30,1	40,0	50,0	60,0	70,0	80,1	90,1	100,2
	10	10,0	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,2	90,1	100,1
	11	10,1	20,2	30,1	40,1	50,2	60,2	70,1	80,1	90,1	100,1
	12	10,0	20,0	30,0	40,1	50,0	60,0	70,1	80,1	90,0	100,0
6	1	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	2	10,0	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	3	10,0	20,1	30,0	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,0	100,0
	4	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	5	9,9	20,0	30,0	40,0	50,1	60,0	70,1	80,1	90,0	100,1
	6	9,9	19,9	29,9	39,9	49,9	60,1	70,0	80,0	89,9	99,9
	7	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0

	8	10,0	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	9	10,0	20,0	30,1	40,0	50,0	60,0	70,0	80,1	90,1	100,1
	10	9,9	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	90,0	100,0
	11	10,1	20,1	30,1	40,1	50,1	60,1	70,1	80,1	90,1	100,1
	12	10,0	20,0	30,0	40,0	50,0	60,0	70,0	80,0	30,0	100,1

- Штангенциркуль ШЦЦ-I-150-0,01 (варианты 7-9)

вариант	№ измерения	Номинал концевой меры (набора мер), мм									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
7	1	10,01	20,02	30,00	40,02	50,01	60,00	70,01	80,01	90,00	100,00
	2	10,02	20,00	30,00	40,00	50,00	60,02	70,00	80,00	90,00	100,01
	3	9,99	19,97	29,99	40,00	49,99	60,01	70,00	80,00	89,99	99,99
	4	10,01	20,00	30,01	40,00	50,00	60,00	70,02	80,01	90,00	100,01
	5	10,02	20,01	30,01	40,01	50,01	60,00	70,01	80,00	90,00	100,00
	6	10,01	20,02	30,02	40,03	50,02	60,01	70,01	80,01	90,01	100,01
	7	9,98	19,99	29,98	39,98	50,03	60,01	70,00	80,00	89,98	99,99
	8	9,99	19,98	29,97	39,99	49,98	60,00	70,00	79,99	89,99	99,98
	9	10,01	20,02	30,02	40,02	50,01	60,02	70,01	80,01	90,02	100,01
	10	10,00	20,01	30,00	40,00	50,00	60,00	70,02	80,00	90,01	100,01
	11	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	12	10,01	20,00	30,01	40,01	50,01	60,00	70,01	80,01	90,00	100,00
8	1	10,02	20,02	30,01	40,01	50,02	60,01	70,00	80,01	90,01	100,01
	2	10,01	20,01	30,00	39,99	50,02	60,00	69,98	80,00	90,01	100,00
	3	10,00	20,00	30,00	40,00	50,00	60,01	70,00	80,00	90,00	100,00
	4	10,00	20,01	29,99	40,01	50,01	60,02	70,01	80,01	89,99	99,99
	5	10,00	20,00	30,00	40,01	50,00	60,00	70,00	80,00	90,01	100,00

	6	9,98	20,00	30,02	40,00	50,01	60,01	70,00	80,00	90,00	100,01
	7	9,97	19,99	29,98	39,98	50,01	59,99	69,99	79,98	89,98	99,99
	8	10,00	20,01	30,01	40,02	50,00	60,01	70,00	80,02	90,00	100,00
	9	10,00	20,02	30,01	40,00	50,00	60,00	70,01	80,01	90,02	100,01
	10	10,00	20,02	30,02	40,02	50,01	60,02	70,00	80,01	90,02	100,01
	11	10,01	20,01	30,03	40,02	50,00	60,01	70,02	80,00	90,01	100,00
	12	10,00	20,00	30,00	40,01	50,00	60,00	70,01	80,00	90,00	100,00
9	1	10,00	20,00	30,01	40,00	50,01	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	2	10,00	20,01	30,01	40,00	50,00	60,01	70,01	80,01	90,01	100,01
	3	10,01	20,02	30,00	40,02	50,02	60,02	70,01	80,02	90,00	100,00
	4	10,00	20,00	30,00	40,01	50,01	60,01	70,00	80,00	90,00	100,00
	5	9,98	19,99	29,99	39,98	50,00	59,99	70,02	80,01	89,99	100,01
	6	9,99	19,98	29,98	39,99	49,99	60,00	69,99	79,99	89,98	99,99
	7	10,01	20,02	30,01	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,01
	8	10,02	20,01	30,02	40,01	50,01	60,01	70,01	80,01	90,02	100,02
	9	10,00	20,00	30,00	40,01	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00
	10	9,98	19,98	29,98	39,97	49,99	59,98	69,98	79,98	90,01	99,98
	11	10,01	20,01	30,02	40,01	50,01	60,02	70,01	80,01	90,00	100,01
	12	10,02	20,02	30,01	40,00	50,00	60,00	70,00	80,00	90,00	100,00

- Микрометр МК25-1 (варианты 10-12)

вариант	№ измерения	Номинал концевой меры (набора мер), мм									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
10	1	2,01	4,02	6,00	8,02	10,01	12,00	14,01	16,01	18,00	20,00
	2	2,02	4,00	6,00	8,00	10,00	12,02	14,00	16,00	18,00	20,01
	3	1,99	3,99	5,99	8,00	9,99	12,01	14,00	16,00	17,99	19,99
	4	2,01	4,00	6,01	8,00	10,00	12,00	14,02	16,01	18,00	20,01

	5	2,02	4,01	6,01	8,01	10,01	12,00	14,01	16,00	18,00	20,00
	6	2,01	4,02	6,02	8,03	10,02	12,01	14,01	16,01	18,01	20,01
	7	1,98	3,99	5,98	7,98	10,03	12,01	14,00	16,00	17,98	19,99
	8	1,99	3,98	5,99	7,99	9,98	12,00	14,00	15,99	17,99	19,98
	9	2,01	4,02	6,02	8,02	10,01	12,02	14,01	16,01	18,02	20,01
	10	2,00	4,01	6,00	8,00	10,00	12,00	14,02	16,00	18,01	20,01
	11	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
	12	2,01	4,00	6,01	8,01	10,01	12,00	14,01	16,01	18,00	20,00
11	1	2,02	4,02	6,01	8,01	10,02	12,01	14,00	16,01	18,01	20,01
	2	2,01	4,01	6,00	7,99	10,02	12,00	13,98	16,00	18,01	20,00
	3	2,00	4,00	6,00	8,00	10,00	12,01	14,00	16,00	18,00	20,00
	4	2,00	4,01	5,99	8,01	10,01	12,02	14,01	16,01	17,99	19,99
	5	2,01	4,00	6,00	8,01	10,00	12,00	14,00	16,00	18,01	20,00
	6	1,98	4,00	6,02	8,00	10,01	12,01	14,00	16,00	18,00	20,01
	7	1,97	3,99	5,98	7,98	10,01	11,99	13,99	15,98	17,98	19,99
	8	2,00	4,01	6,01	8,02	10,00	12,01	14,00	16,02	18,00	20,00
	9	2,00	4,02	6,01	8,00	10,00	12,00	14,01	16,01	18,02	20,01
	10	2,00	4,02	6,02	8,02	10,01	12,02	14,00	16,01	18,02	20,01
	11	2,01	4,01	6,01	8,02	10,00	12,01	14,02	16,00	18,01	20,00
	12	2,00	4,00	6,00	8,01	10,00	12,00	14,01	16,00	18,00	20,00
12	1	2,00	4,00	6,01	8,00	10,01	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
	2	2,00	4,01	6,01	8,00	10,00	12,01	14,01	16,01	18,01	20,01
	3	2,01	4,02	6,00	8,02	10,02	12,02	14,01	16,02	18,00	20,00
	4	2,00	4,00	6,00	8,01	10,01	12,01	14,00	16,00	18,00	20,00
	5	1,98	3,99	5,99	7,98	10,00	11,99	14,02	16,01	17,99	20,01
	6	1,99	3,98	5,98	7,99	9,99	12,00	13,99	15,99	17,98	19,99
	7	2,01	4,02	6,01	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,01

	8	2,02	4,01	6,02	8,01	10,01	12,01	14,01	16,01	18,02	20,02
	9	2,00	4,00	6,00	8,01	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00
	10	1,98	3,98	5,98	7,97	9,99	11,98	13,98	15,98	18,01	19,98
	11	2,01	4,01	6,02	8,01	10,01	12,02	14,01	16,01	18,00	20,01
	12	2,02	4,02	6,01	8,00	10,00	12,00	14,00	16,00	18,00	20,00

- Микрометр МК50-1 (варианты 13-15)

вариант	№ измерения	Номинал концевой меры (набора мер), мм									
		26	28	30	32	34	36	38	40	42	44
13	1	26,01	28,02	30,00	32,02	34,01	36,00	38,01	40,01	42,00	44,00
	2	26,02	28,00	30,00	32,00	34,00	36,02	38,00	40,00	42,00	44,01
	3	25,99	27,99	29,99	32,00	33,99	36,01	38,00	40,00	41,99	43,99
	4	26,01	28,00	30,01	32,00	34,00	36,00	38,02	40,01	42,00	44,01
	5	26,02	28,01	30,01	32,01	34,01	36,00	38,01	40,00	42,00	44,00
	6	26,01	28,02	30,02	32,03	34,02	36,01	38,01	40,01	42,01	44,01
	7	25,98	27,99	29,98	31,98	34,03	36,01	38,00	40,00	41,98	43,99
	8	25,99	27,98	29,99	31,99	33,98	36,00	38,00	39,99	41,99	43,98
	9	26,01	28,02	30,02	32,02	34,01	36,02	38,01	40,01	42,02	44,01
	10	26,00	28,01	30,00	32,00	34,00	36,00	38,02	40,00	42,01	44,01
	11	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00	36,00	38,00	40,00	42,00	44,00
	12	26,01	28,00	30,01	32,01	34,01	36,00	38,01	40,01	42,00	44,00
14	1	26,02	28,02	30,01	32,01	34,02	36,01	38,00	40,01	42,01	44,01
	2	26,01	28,01	30,00	31,99	34,02	36,00	37,98	40,00	42,01	44,00
	3	26,00	28,00	30,00	32,00	34,00	36,01	38,00	40,00	42,00	44,00
	4	26,00	28,01	29,99	32,01	34,01	36,02	38,01	40,01	41,99	43,99
	5	26,01	28,00	30,00	32,01	34,00	36,00	38,00	40,00	42,01	44,00

	6	25,98	28,00	30,02	32,00	34,01	36,01	38,00	40,00	42,00	44,01
	7	25,97	27,99	29,98	31,98	34,01	35,99	37,99	39,98	41,98	43,99
	8	26,00	28,01	30,01	32,02	34,00	36,01	38,00	40,02	42,00	44,00
	9	26,00	28,02	30,01	32,00	34,00	36,00	38,01	40,01	42,02	44,01
	10	26,00	28,02	30,02	32,02	34,01	36,02	38,00	40,01	42,02	44,01
	11	26,01	28,01	30,01	32,02	34,00	36,01	38,02	40,00	42,01	44,00
	12	26,00	28,00	30,00	32,01	34,00	36,00	38,01	40,00	42,00	44,00
15	1	26,00	28,00	30,01	32,00	34,01	36,00	38,00	40,00	42,00	44,00
	2	26,00	28,01	30,01	32,00	34,00	36,01	38,01	40,01	42,01	44,01
	3	26,01	28,02	30,00	32,02	34,02	36,02	38,01	40,02	42,00	44,00
	4	26,00	28,00	30,00	32,01	34,01	36,01	38,00	40,00	42,00	44,00
	5	25,98	27,99	29,99	31,98	34,00	35,99	38,02	40,01	41,99	44,01
	6	25,99	27,98	29,98	31,99	33,99	36,00	37,99	39,99	41,98	43,99
	7	26,01	28,02	30,01	32,00	34,00	36,00	38,00	40,00	42,00	44,01
	8	26,02	28,01	30,02	32,01	34,01	36,01	38,01	40,01	42,02	44,02
	9	26,00	28,00	30,00	32,01	34,00	36,00	38,00	40,00	42,00	44,00
	10	25,98	27,98	29,98	31,97	33,99	35,98	37,98	39,98	42,01	43,98
	11	26,01	28,01	30,02	32,01	34,01	36,02	38,01	40,01	42,00	44,01
	12	26,02	28,02	30,01	32,00	34,00	36,00	38,00	40,00	42,00	44,00

- Микrometer МКЦ25 (варианты 16-18)

вариант	№ измерения	Номинал концевой меры (набора мер), мм									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
16	1	2,001	4,002	6,002	8,002	10,001	12,001	14,001	16,001	18,002	20,002
	2	2,002	4,000	6,003	8,001	10,003	12,002	14,002	16,003	18,004	20,001
	3	1,998	3,998	5,999	8,004	9,997	12,001	14,003	16,002	17,996	19,997

	4	2,001	4,003	6,001	8,002	10,001	12,002	14,002	16,001	18,006	20,001
	5	2,002	4,001	6,003	8,001	10,001	12,000	14,001	16,004	18,007	20,006
	6	2,003	4,002	6,002	8,003	10,002	12,005	14,001	16,001	18,001	20,001
	7	1,999	3,997	5,999	7,998	10,001	12,001	14,000	16,002	17,998	19,999
	8	1,997	3,998	5,997	7,997	9,998	12,001	14,000	15,998	17,996	19,998
	9	2,004	4,002	6,002	8,002	10,001	12,002	14,001	16,001	18,002	20,003
	10	2,003	4,001	6,003	8,003	10,004	12,004	14,002	16,003	18,001	20,001
	11	2,001	4,003	6,002	8,001	10,000	12,003	14,001	16,003	18,004	20,004
	12	2,001	4,004	6,001	8,001	10,001	12,000	14,001	16,001	18,004	20,005
17	1	2,002	4,002	6,001	8,002	10,002	12,001	14,003	16,001	18,005	20,001
	2	2,001	4,001	6,003	7,996	10,002	12,004	13,998	16,004	18,001	20,002
	3	2,000	4,001	6,004	8,005	10,001	12,001	14,002	16,002	18,004	20,004
	4	2,003	4,002	5,998	8,001	10,001	12,002	14,001	16,001	17,998	19,997
	5	2,002	4,001	6,001	8,001	10,005	12,000	14,002	16,005	18,001	20,004
	6	1,997	4,003	6,002	8,003	10,000	12,001	14,003	16,004	18,005	20,001
	7	1,999	3,999	5,997	7,998	10,001	11,996	13,996	15,998	17,998	19,999
	8	2,002	4,001	6,002	8,002	10,003	12,001	14,002	16,002	18,004	20,003
	9	2,001	4,002	6,001	8,001	10,002	12,001	14,001	16,001	18,002	20,001
	10	2,000	4,005	6,002	8,002	10,001	12,002	14,002	16,001	18,002	20,005
	11	2,001	4,003	6,003	8,004	10,004	12,001	14,002	16,003	18,001	20,006
	12	2,002	4,003	6,001	8,001	10,000	12,003	14,005	16,006	18,003	20,002
18	1	2,003	4,001	6,002	8,003	10,001	12,002	14,004	16,005	18,004	20,004
	2	2,002	4,001	6,003	8,002	10,002	12,001	14,003	16,007	18,002	20,001
	3	2,001	4,004	6,002	8,001	10,002	12,002	14,006	16,002	18,004	20,005
	4	2,001	4,003	6,001	8,001	10,004	12,001	14,005	16,003	18,003	20,003
	5	1,998	3,998	5,997	7,998	10,001	11,998	14,004	16,001	17,996	20,001
	6	1,999	3,999	5,998	7,996	9,997	12,001	13,998	15,994	17,999	19,996

	7	2,001	4,002	6,003	8,003	10,003	12,002	14,004	16,002	18,003	20,001
	8	2,002	4,001	6,002	8,01	10,002	12,001	14,003	16,001	18,002	20,002
	9	2,001	4,003	6,001	8,01	10,002	12,003	14,004	16,00	18,005	20,004
	10	1,998	3,998	5,997	7,97	9,999	11,998	13,996	15,98	18,001	19,998
	11	2,003	4,001	6,002	8,01	10,001	12,002	14,002	16,01	18,003	20,001
	12	2,002	4,002	6,001	8,00	10,004	12,001	14,003	16,00	18,002	20,003

## Образец расчета составляющих погрешности и неопределенности измерений (пример-образец)

### *Объект – весы лабораторные ВЛТЭ-1100*

Внешний вид весов представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Весы лабораторные ВЛТЭ-1100

Прецизионные весы серий ВЛТЭ выпускаются согласно требованиям ГОСТ OIML R 76-1-2011 и предназначены для измерения массы твердых предметов, а также сыпучих и жидких веществ. Наиболее активно применяются в химической, нефтехимической, пищевой, ювелирной, целлюлозно-бумажной, фармацевтической промышленности и медицине. Весы также могут применяться в сфере государственного регулирования обеспечения единства измерений, поскольку прошли процедуру утверждения типа СИ. Технические характеристики приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики лабораторных весов ВЛТЭ-1100

Наименование	ВЛТЭ-1100
Наибольший предел взвешивания, г	1100
Дискретность, г	0,01
Калибровка	Внешняя
Размер чаши / платформы весов, мм	175x145
Наименьший предел	0,5

взвешивания, г	
Цена поверочного деления, мг	100
Пределы допускаемой погрешности при первичной поверке, мг	от 0,5г до 500г вкл. $\pm 50$ ; св. 500г до 1100г вкл. $\pm 100$
Пределы допускаемой погрешности при эксплуатации, мг	от 0,5г до 500г вкл. $\pm 100$ ; св. 500г до 1100г вкл. $\pm 200$
Класс точности согласно ГОСТ OIML R 76-1-2011	II высокий
Время установления показаний, с, не более	3
Юстировочная гиря	1кг F1
Гарантия	3 года

Далее рассмотрен порядок обработки результатов измерений, результаты калибровки и их статистическая обработка.

### ***1 Порядок обработки результатов измерения***

Обработка результатов измерения включает в себя следующие пункты:[8]

1.1 Вычисление среднего арифметического значения  $\bar{m}_i$ , среднего квадратического отклонения  $S_{m_i}$  и среднего квадратического отклонения среднего арифметического  $S_{\bar{m}_i}$  по формулам (1) - (2) .

$$S_{m_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} \quad (1)$$

$$S_{\bar{m}_i} = \frac{S_{m_i}}{\sqrt{n}}, \quad (2)$$

где  $n=15$  – количество результатов измерений;

1.2 Идентификация закона распределения результатов измерений

Согласно ГОСТ Р 8.736-2011 «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения», при количестве измерений  $n \leq 15$  принадлежность к нормальному распределению не проверяют.

### 1.3 Определение доверительных границ случайной погрешности

Определить доверительные границы  $\varepsilon$  случайной погрешности оценки измеряемой величины по формуле (3).

$$\varepsilon_i = t \cdot S_{\bar{m}_i}, \quad (3)$$

где  $t$  – коэффициент Стьюдента.

### 1.4 Определение доверительной границы погрешности оценки измеряемой величины

Определим среднее квадратическое отклонение неисключенной систематической погрешности  $S_\theta$  по формуле (4).

$$S = \frac{\theta}{\sqrt{3}}, \quad (4)$$

где  $\theta$  – предел допускаемой погрешности средства измерения в эксплуатации.

Далее определим суммарное среднее квадратическое отклонение  $S_\Sigma$  по формуле (5).

$$S_\Sigma = \sqrt{S_\theta^2 + S_{\bar{x}}^2} \quad (5)$$

Вычислим границы погрешности оценки измеряемой величины  $\Delta$  по формуле 6.

$$\Delta = K \cdot S_\Sigma, \quad (6)$$

где  $K$  – коэффициент, определяемый по формуле (7).

$$K = \frac{\varepsilon + \theta}{S_{\bar{x}} + S_\theta} \quad (7)$$

### 1.5 Определение неопределенности измерений

Согласно ГОСТ Р 54500.3-2011/Руководство ИСО/МЭК 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения» определим следующие параметры.[9]

Неопределенность по типу А вычисляется по формуле (8).

$$U_A(m_i) = S_{\bar{m}_i} \quad (8)$$

Неопределенность по типу В вычисляется по формуле (9).

$$U_B(m_i) = \frac{\Delta_{\text{пр}}}{\sqrt{3}}, \quad (9)$$

где  $\Delta_{\text{пр}}$  - пределы допускаемой погрешности средства измерения.

Далее вычислить суммарную стандартную неопределенность по формуле (10).

$$U_C(m_i) = \sqrt{U_A^2(m_i) + U_B^2(m_i)} \quad (10)$$

Затем вычисляем расширенную неопределенность измерений по формуле (11).

$$U(m_i) = k \cdot U_C(m_i), \quad (11)$$

где  $k$  – коэффициент охвата. При  $P=0.95$ ,  $k=2$ .

Результат измерения представляется в виде формулы (12).

$$m_i = \bar{m}_i \pm U(m_i) \quad (12)$$

1.6 Построить график зависимости  $\Delta = \phi(\bar{m})$  и сделать вывод исходя полученного графика.

## ***2 Результаты проведения калибровки весов***

Рассмотрим результаты калибровки лабораторных весов ВЛТЭ-1100.

При калибровке весы ВЛТЭ-1100 поочередно нагружали набором гирь с номинальной массой 50, 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000 г и проводили измерения 15 раз.

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений

Масса гирь, г	Показания весов, г														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>50</b>	50.00	49.99	50.00	49.99	50.01	50.00	50.00	50.00	49.95	50.01	50.00	50.00	50.00	50.01	50.00
<b>100</b>	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	99.99	100.00	99.99	99.99	100.00	100.00	100.00
<b>200</b>	199.98	200.00	199.99	200.00	200.00	199.99	199.98	200.00	199.99	199.99	199.98	199.99	199.99	200.00	200.00
<b>300</b>	299.99	299.99	299.99	300.00	300.00	300.00	300.00	299.99	299.98	299.99	299.99	299.98	300.00	299.99	299.99
<b>400</b>	399.98	399.98	399.99	399.98	399.98	399.99	399.99	400.00	399.99	399.97	399.99	399.98	399.98	399.98	399.98
<b>500</b>	499.97	499.98	499.97	499.96	499.97	499.97	499.98	499.97	499.97	499.98	499.97	499.96	499.97	499.97	499.97
<b>600</b>	599.97	599.97	599.97	599.96	599.95	599.96	599.97	599.97	599.97	599.97	599.97	599.97	599.97	599.97	599.96
<b>700</b>	699.95	699.95	699.96	699.95	699.95	699.96	699.95	699.96	699.96	699.95	699.95	699.95	699.96	699.96	699.95
<b>800</b>	799.96	799.96	799.95	799.95	799.96	799.95	799.95	799.95	799.95	799.95	799.95	799.96	799.96	799.96	799.95
<b>900</b>	899.95	899.96	899.96	899.96	899.96	899.96	899.95	899.95	899.95	899.96	899.95	899.95	899.95	899.95	899.95
<b>1000</b>	999.94	999.95	999.93	999.94	999.94	999.94	999.95	999.95	999.95	999.94	999.94	999.95	999.95	999.95	999.95

### 3 Обработка результатов измерения при калибровке

Поэтапно рассмотрим результаты обработки измеренных значений масс наборов гирь в соответствии с разработанной методикой калибровки.

- Вычисление составляющих погрешности измерений.

Для определения данных показателей был использован программный продукт MS Excel. Перенесенные в файл исходные данные показаны на рис. 3.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	масса	Показания весов, г														
2	гирь, г	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
3	50	50	49,99	50	49,99	50,01	50	50	50	49,95	50,01	50	50	50	50,01	50
4	100	100	99,99	99,99	100	100	100	99,99	100	99,99	100	99,99	99,99	100	100	100
5	200	199,98	200	199,99	200	200	199,99	199,98	200	199,99	199,99	199,98	199,99	199,99	200	200
6	300	299,99	299,99	299,99	300	300	300	300	299,99	299,98	299,99	299,99	299,98	300	299,99	299,99
7	400	399,98	399,98	399,99	399,98	399,98	399,99	399,99	400	399,99	399,97	399,99	399,98	399,98	399,98	399,98
8	500	499,97	499,98	499,97	499,96	499,97	499,97	499,98	499,97	499,97	499,98	499,97	499,96	499,97	499,97	499,97
9	600	599,97	599,97	599,97	599,96	599,95	599,96	599,97	599,97	599,97	599,97	599,97	599,97	599,97	599,97	599,96
10	700	699,95	699,95	699,96	699,95	699,95	699,96	699,95	699,96	699,96	699,95	699,95	699,95	699,96	699,96	699,95
11	800	799,96	799,96	799,95	799,95	799,96	799,95	799,95	799,95	799,95	799,95	799,95	799,95	799,96	799,96	799,95
12	900	899,95	899,96	899,96	899,96	899,96	899,96	899,95	899,95	899,95	899,96	899,95	899,95	899,95	899,95	899,95
13	1000	999,94	999,95	999,93	999,94	999,94	999,94	999,95	999,95	999,95	999,94	999,94	999,95	999,95	999,95	999,95
14																

Рисунок 2 – Скрин исходных данных в расчетном файле

Справа размещены результаты расчетов. Вычисления производятся по формулам (1) - (7).

R	S	T	U	V	W	X
случ, Составл		систем, Составл		суммарная погрешность		
$S_x, \text{ г}$	$\delta, \text{ г}$	$\Theta, \text{ г}$	$S_{\Theta}, \text{ г}$	$S_{\Sigma}, \text{ г}$	K	$\Delta_{\text{сум}}, \text{ г}$
0,0144	0,025	0,1	0,0577	0,06	1,738	0,103
0,0051	0,009	0,1	0,0577	0,06	1,734	0,101
0,0077	0,014	0,1	0,0577	0,06	1,736	0,101
0,0068	0,012	0,1	0,0577	0,06	1,735	0,101
0,0074	0,013	0,1	0,0577	0,06	1,735	0,101
0,0059	0,010	0,1	0,0577	0,06	1,735	0,101
0,0062	0,011	0,2	0,1155	0,12	1,734	0,200
0,0051	0,009	0,2	0,1155	0,12	1,733	0,200
0,0051	0,009	0,2	0,1155	0,12	1,733	0,200
0,0051	0,009	0,2	0,1155	0,12	1,733	0,200
0,0064	0,011	0,2	0,1155	0,12	1,734	0,200

Рисунок 3

В столбцах R – X большинство параметров рассчитаны с использованием стандартных формул. В табл. 3 приведен их вид.

Таблица 3

$S_x, \text{ г}$	=СТАНДОТКЛОН(ВЗ:РЗ)
$\delta, \text{ г}$	=СТЬЮДЕНТ.ОБР(0,95;14)*РЗ
$S_{\Theta}, \text{ г}$	=ТЗ/КОРЕНЬ(3)
$S_{\Sigma}, \text{ г}$	=КОРЕНЬ(РЗ^2+УЗ^2)
К	=(SЗ+ТЗ)/(РЗ+УЗ)
$\Delta_{\text{сум}}, \text{ г}$	=WЗ*VЗ

Параметр  $\Theta$  определяется по характеристикам СИ, которые указываются в описании типа – предел погрешности измерений при эксплуатации. Для весов в диапазоне до 500 г он равен 0,1 г, и в диапазоне 500-1100 г равен 0,2 г. (см. табл. 1). Результаты расчетов занесены в таблицу 4.

Таблица 4 – Результаты вычислений

Номинальное значение массы, г	$S_x, \text{ г}$	$\delta, \text{ г}$	$\Theta, \text{ г}$	$S_{\Theta}, \text{ г}$	$S_{\Sigma}, \text{ г}$	К	$\Delta_{\text{сум}}, \text{ г}$
50	0,0144	0,025	0,1	0,0577	0,06	1,738	0,103
100	0,0051	0,009	0,1	0,0577	0,06	1,734	0,101
200	0,0077	0,014	0,1	0,0577	0,06	1,736	0,101
300	0,0068	0,012	0,1	0,0577	0,06	1,735	0,101
400	0,0074	0,013	0,1	0,0577	0,06	1,735	0,101
500	0,0059	0,010	0,1	0,0577	0,06	1,735	0,101
600	0,0062	0,011	0,2	0,1155	0,12	1,734	0,200
700	0,0051	0,009	0,2	0,1155	0,12	1,733	0,200
800	0,0051	0,009	0,2	0,1155	0,12	1,733	0,200
900	0,0051	0,009	0,2	0,1155	0,12	1,733	0,200
1000	0,0064	0,011	0,2	0,1155	0,12	1,734	0,200

- Определение неопределенности измерений

Определим для каждого значения массы параметры неопределенности по типу А, параметры неопределенности по типу В, а также значения суммарной стандартной и расширенной неопределенности по формулам (8) –

(11) соответственно. Расчеты данных параметров были выполнены в программе MS Excel (рис. 4).

Z	AA	AB	AC
неопределенность			
U A	U B	U C	U, г
0,0144	0,057735	0,60	1,200
0,0051	0,057735	0,56	1,116
0,0077	0,057735	0,57	1,146
0,0068	0,057735	0,57	1,136
0,0074	0,057735	0,57	1,142
0,0059	0,057735	0,56	1,127
0,0062	0,11547	0,65	1,294
0,0051	0,11547	0,64	1,282
0,0051	0,11547	0,64	1,282
0,0051	0,11547	0,64	1,282
0,0064	0,11547	0,65	1,296

Рисунок 4

Результаты занесем в таблицу 5.

Таблица 5 – Результаты вычислений

Номинальное значение массы, г	$U_B(m_i)$	$U_A(m_i)$	$U_C(m_i)$	$U(m_i)$
50	0,0144	0,0577	0,06	0,119
100	0,0051	0,0577	0,06	0,116
200	0,0077	0,0577	0,06	0,117
300	0,0068	0,0577	0,06	0,116
400	0,0074	0,0577	0,06	0,116
500	0,0059	0,0577	0,06	0,116
600	0,0062	0,1155	0,12	0,231
700	0,0051	0,1155	0,12	0,231
800	0,0051	0,1155	0,12	0,231
900	0,0051	0,1155	0,12	0,231
1000	0,0064	0,1155	0,12	0,231

Приведем сравнение параметров погрешности и неопределенности в таблице 6. Доверительная границы погрешности  $\Delta$  аналогична расширенной неопределенности.

Таблица 6 – Сравнение параметров

Номинальное значение массы, г	Погрешность результата $\Delta$ , г	Неопределенность результата $U$ , г
50	0,103	0,119
100	0,101	0,116
200	0,101	0,117
300	0,101	0,116
400	0,101	0,116
500	0,101	0,116
600	0,200	0,231
700	0,200	0,231
800	0,200	0,231
900	0,200	0,231
1000	0,200	0,231

Из таблицы видно, что сравниваемые значения получились близкими друг к другу.

- Построение графиков зависимости  $\Delta = f(\bar{m})$  и  $U = f(\bar{m})$

График зависимости представлен на рисунке 6.

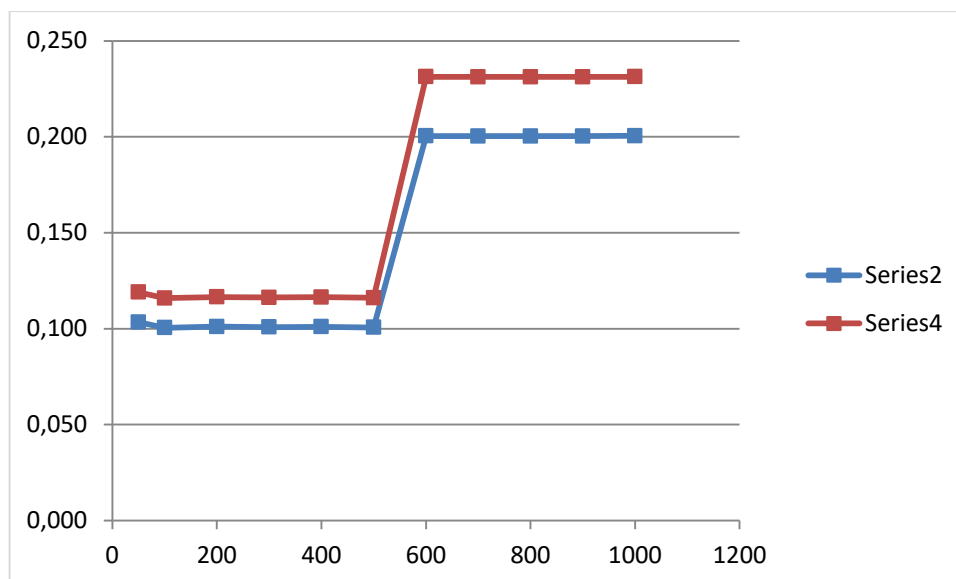


Рисунок 6 – Графики зависимости  $\Delta = f(\bar{m})$  и  $U = f(\bar{m})$

Проанализировав график указанный на рисунке 6, можно сделать вывод, что характер изменения погрешности и неопределенности по диапазону измерений неоднороден. В начальной зоне (до 500 г) оба

параметра находится примерно на одном уровне (0.1 г), а далее происходит резкое увеличение погрешности и неопределенности до уровня 0.2 г, т.е. в примерно 2 раза. При этом все значения погрешности находятся на уровне установленных в нормативной документации верхних пределов допускаемой основной погрешности измерений.