

## 1. Требования к выполнению контрольной работы

### по разделу «Метрология» (Тема 1-6)

Согласно учебному плану слушатель в период изучения курса «Метрология, стандартизация и сертификация» должен выполнить контрольные работы соответственно каждому разделу. Целью выполнения контрольных работ является проверка степени и качества усвоения слушателями основных понятий метрологии, стандартизации и сертификации, и их роли в решении проблем безопасности.

К выполнению контрольной работы №1 следует приступать после изучения раздела «Метрология» в соответствии с рабочей программой курса «МСиС».

Контрольная работа содержит три теоретических вопроса и задачу. В ответах на вопросы слушатели должны продемонстрировать теоретические знания по разделу «Метрология», в частности, уметь раскрыть понятия:

- понятие метрологии;
- задачи, решаемые метрологией;
- измерение;
- физическая величина;
- значение физической величины;
- классификация измерений;
- характеристики измерений;
- погрешность измерений;
- классификация погрешностей и др.

Отвечая на теоретические вопросы контрольной работы, следует использовать литературу [3, 5, 9].

При решении задачи необходимо выполнить расчет:

а) по обнаружению случайных погрешностей (когда систематические погрешности учтены или отсутствуют);

б) по обнаружению и исключению грубых погрешностей (промахов).

Методика решения задач с примерами решений и контрольные вопросы приведены ниже.

## 1.1. Контрольные вопросы по разделу «Метрология»

1. Понятие и предмет метрологии. Цели и задачи метрологии.
2. Федеральный закон «Об обеспечении единства измерений».
3. Правовые основы метрологии.
4. Сущность качества. Элементы качества.
5. Этапы жизненного цикла продукции.
6. Понятие обеспечения единства измерения.
7. Измерения. Схема элементов, участвующих в измерениях.
8. Классификация измерений.
9. Характеристики измерений.
10. Методы измерений (определение, классификация).
11. Погрешность измерения (определение, классификация).
12. Физическая величина. Значение физической величины. Примеры.
13. Истинное и действительное значение физической величины.
14. Причины возникновения погрешностей измерений.
15. Критерии качества измерений (точность, правильность, сходимость, воспроизводимость).
16. Методика выполнения измерений.
17. Алгоритм обработки результатов многократных измерений при наличии случайных погрешностей (систематические погрешности учтены или отсутствуют).
18. Алгоритм обработки результатов многократных измерений при наличии случайных и грубых погрешностей.
19. Средства измерения. Виды средств измерений.
20. Средства измерения по конструктивному исполнению.
21. Средства измерения по метрологическому назначению.
22. Эталоны. Виды эталонов.
23. Международная система единиц измерений физических величин.
24. Передача информации о размерах единиц. Поверочные схемы.
25. Метрологические характеристики средств измерений.
26. Поверка средств измерений. Виды поверок.
27. Поверка средств измерений. Результаты поверок. Протокол и свидетельство о поверке.
28. Аккредитация метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений. Требования к аккредитуемым метрологическим службам.
29. Российская система калибровки. Калибровка средств измерений. Калибровочный знак, сертификат о калибровке.
30. Государственная метрологическая служба (состав или структура, функции).
31. Федеральное агентство по техническому регулированию (функции, права, обязанности).

32. Ответственность за нарушение законодательства РФ «Об обеспечении единства измерений».

33. Права и обязанности государственных инспекторов по обеспечению единства измерений.

34. Формы государственного регулирования в области обеспечения единства измерений.

35. Государственная система обеспечения единства измерений.

36. Финансирование в области обеспечения единства измерения.

37. Метрологические службы юридических лиц.

38. Международные метрологические организации.

39. Метрологическая служба предприятия и характеристика ее деятельности.

40. Сертификация средств измерений и метрологических услуг.

## **1.2 Алгоритм обработки результатов многократных измерений при наличии случайных погрешностей**

**(систематические погрешности учтены или отсутствуют)**

1.2.1. Находим среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  измеряемой физической величины, являющейся при многократных измерениях действительным значением измеряемой физической величины  $X_d$  по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где  $X_i$  – результаты измерений ( $X_1, X_2, X_3, \dots, X_n$ );  $n$  – число измерений.

1.2.2. Для оценки рассеивания отдельных результатов измерения  $X_i$  относительно среднего  $\bar{X}$ , вычисляем среднее квадратическое отклонение  $\sigma_{xi}$ :

$$\sigma_{xi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (\text{при } n \leq 20);$$

$$\sigma_{xi} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n}} \quad (\text{при } n > 20).$$

*Примечание.* Данные формулы применимы для условия неизменности физической величины в процессе измерения.

1.2.3. Для оценки отклонения от  $X_{\text{ист}}$ , определяем среднеквадратическое отклонение среднего арифметического  $\sigma_{\bar{X}}$ :

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{\sigma_{X_i}}{\sqrt{n}}.$$

*Примечание.* Из формулы видно, что среднеарифметическое из ряда измерений всегда имеет меньшую погрешность, чем однократные измерения из этого ряда. Из нее следует, что если необходимо повысить точность измерения в два раза, то число измерений необходимо увеличить в четыре раза; если требуется увеличить в три раза, то число измерений необходимо увеличить в девять раз и т. д.

$\sigma_{\bar{X}}$  используется при оценке погрешностей окончательного результата;

$\sigma_X$  используется при оценке погрешности метода измерения.

1.2.4 Вычисляем доверительный интервал  $\Delta$  для случайной погрешности при доверительной вероятности  $P_i$ :

$$\Delta = \pm t_{\text{ст}} \cdot \sigma_{\bar{X}} = \pm t_{\text{ст}} \frac{\sigma_X}{\sqrt{n}},$$

где  $t_{\text{ст}}$  – коэффициент Стьюдента, вводящийся в силу ограниченности числа измерений и определяемый по табл. 1.

$$t_{\text{ст}} = f(P_i; n),$$

где  $n$  – число измерений;  $P_i$  – доверительная вероятность ( $P_1 = 0,90$ ;  $P_2 = 0,95$ ;  $P_3 = 0,99$ ), означающая вероятность того, что  $\bar{X}$  результата измерения отличается от истинного значения не более чем на величину  $\Delta$ .

1.2.5. Ответ записываем в виде:

$X = (\bar{X} \pm \Delta)$  ед. при заданной  $P_i$ , где  $X$  – действительное значение физической величины.

1.2.6. На основании расчетов дать теоретическое обоснование полученных результатов и сделать вывод.

*Вопросы для самопроверки:*

1. Смысл доверительной вероятности  $P_i$ .
2. Смысл коэффициента Стьюдента  $t_{\text{ст}}$ .
3. Есть ли зависимость между  $P_i$  и  $\Delta$ ?

### 1.2.7. Пример.

#### Задание

При измерении силы электрического тока получены следующие значения мА: 2,80; 2,72; 2,85; 2,90; 2,78; 2,82; 2,74; 2,88; 2,90.

Требуется определить действительное значение измеряемой физической величины  $X$  и оценить доверительный интервал  $\Delta$  для случайной погрешности при доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

#### Решение

1) Находим среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  измеряемой физической величины:

$$\bar{X} = \frac{2,80 + 2,72 + 2,85 + 2,90 + 2,78 + 2,82 + 2,74 + 2,88 + 2,90}{9} = 2,81 \text{ (мА)}.$$

2) Вычисляем среднее квадратическое отклонение результатов экспериментов ( $\sigma_{X_i}$ ):

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\frac{0,0288}{9-1}} = 0,06 \text{ (мА)}.$$

3) Определяем среднеквадратическое отклонение среднего арифметического ( $\sigma_{\bar{X}}$ ):

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{0,06}{\sqrt{9}} = 0,02 \text{ (мА)}.$$

4) Вычисляем доверительный интервал ( $\Delta$ ) случайной погрешности при доверительной вероятности  $P = 95\%$ :

а)  $\Delta = \pm 2,306 \cdot 0,02 = 0,0461 \text{ (мА)},$

где  $t_{\text{ст}}$  – коэффициент Стьюдента (определяется по табл.1)

$$t_{\text{ст}} = f(P_i; n) \quad t_{\text{ст}} = 2,306.$$

5) Ответ записываем в виде:

$$X = 2,81 \pm 0,0461 \text{ мА (при } P = 95\% \text{)}.$$

6) Вывод: результаты кратных измерений находятся в пределах интервала ( $2,81 \pm 0,0461 \text{ мА}$ ) с доверительной вероятностью  $P = 0,95$ .

Таблица по определению коэффициента Стьюдента

Кол-во измерений, $n$	Доверительная вероятность, $P_i$		
	0,90	0,95	0,99
2	6,314	12,706	63,657
3	2,920	4,303	9,925
4	2,353	3,182	5,841
5	2,132	2,776	4,604
6	2,015	2,571	4,032
7	1,943	2,447	3,707
8	1,895	2,365	3,499
9	1,860	2,306	3,355
10	1,833	2,262	3,250
11	1,812	2,228	3,169
12	1,796	2,201	3,106
13	1,782	2,179	3,055
14	1,771	2,160	3,012
15	1,761	2,145	2,977
16	1,753	2,131	2,947
17	1,746	2,120	2,921
18	1,740	2,110	2,898
19	1,734	2,101	2,878
20	1,729	2,093	2,861
21	1,725	2,086	2,845
22	1,721	2,080	2,831
23	1,717	2,074	2,819
24	1,714	2,069	2,807
25	1,711	2,064	2,797
26	1,708	2,060	2,787
27	1,706	2,056	2,779
28	1,703	2,052	2,771
29	1,701	2,048	2,763
30	1,699	2,045	2,756
31	1,697	2,042	2,750
$\infty$	1,64485	1,95996	2,57582

### 1.3. Алгоритм обработки результатов многократных измерений при наличии случайных и грубых погрешностей

Грубые погрешности измерений (промахи) могут сильно исказить результат измерений, СКО и доверительный интервал, поэтому их исключение обязательно. Существует ряд критериев для выявления промахов:  $3\sigma$ , Романовского, Шовине, Фишера, применяемых в зависимости от числа измерений.

1.3.1. Вычисляем среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  измеряемой физической величины по формуле

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n},$$

где  $X_i$  – результат измерений ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ );  $n$  – число измерений.

1.3.2. Находим среднее квадратическое отклонение результатов измерений ( $\sigma_{X_i}$ ):

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}.$$

1.3.3. Для определения содержания в значении  $X_i$  грубой погрешности применим критерий Фишера (рассчитываем коэффициент  $t_{\text{расч}}$  и сравним его с коэффициентом  $t_{\text{теор}}$ ):

•  $t_{\text{расч}}$  находим по формуле

$$t_{\text{расч}} = \frac{\max |X_i - \bar{X}|}{\sigma_X};$$

•  $t_{\text{теор}} = f(n; \alpha)$  – находим из табл. 2,

где  $n$  – число измерений;  $\alpha$  – уровень значимости, определяемый по формуле  $\alpha = 1 - P$ .

После нахождения  $t_{\text{расч}}$  и  $t_{\text{теор}}$  сравнение производится по следующему условию:

а)  $t_{\text{расч}} \leq t_{\text{теор}}$  ( $X_i$  – не содержит грубую погрешность);

б)  $t_{\text{расч}} > t_{\text{теор}}$  ( $X_i$  – содержит грубую погрешность).

В случае, если  $X_i$  не содержит грубую погрешность, серию результатов оставляем без изменений и находим доверительный интервал и истинное значение физической величины в соответствии с пп. 1.2.3 – 1.2.5.

В случае, если  $X_i$  содержит грубую погрешность, данный результат исключают из серии наблюдений и проверяют очередное значение  $X_i$  из оставшихся результатов измерений, имеющее максимальное значение  $|X_i - \bar{X}|$  на наличие грубой погрешности.

Устранив все «промахи», необходимо провести обработку оставшихся результатов измерений в соответствии с пп. 1.2.1 – 1.2.5 (по алгоритму обработки результатов измерений при наличии случайных погрешностей для вычисления доверительного интервала, учитывая новое число измерений, т.е. за вычетом измерений, содержащих грубые погрешности).

#### 1.3.4. Пример

##### *Задание*

При измерении силы тока получены следующие значения мА:

3,24; 3,20; 3,26; 3,42; 3,21; 3,22.

Предварительно устранив значения, содержащие грубые погрешности, определить действительное значение физической величины  $X$  и оценить доверительный интервал  $\Delta$  для случайной погрешности при доверительной вероятности  $P = 0,9$ .

##### *Решение*

1) Вычисляем среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  измеряемой физической величины по формуле

$$\bar{X} = \frac{3,24 + 3,20 + 3,26 + 3,42 + 3,21 + 3,22}{6} = \frac{19,55}{6} = 3,26 \text{ мА.}$$

2) Вычисляем среднее квадратическое отклонение результатов измерений  $\sigma_{xi}$ :

$$\sigma_{xi} = \sqrt{\frac{0,0337}{6-1}} = \sqrt{\frac{0,0337}{5}} = 0,082 \text{ мА.}$$

3) Для определения содержания в значении  $X_i$  грубой погрешности, рассчитываем коэффициент  $t_{\text{расч}}$  и сравниваем его с  $t_{\text{теор}}$ :

$$t_{\text{расч}} = \frac{3,42 - 3,26}{0,082} = 1,95 \text{ мА;}$$

$$t_{\text{теор}} = 1,894, \text{ при } n = 6; P = 0,9 \text{ (см. табл. 2),}$$

$t_{\text{расч}} > t_{\text{теор}}$ , следовательно, значение  $X_i = 3,42$  мА содержит грубую погрешность и ее необходимо исключить из серии измерений. Далее возвращаемся к началу задачи и проверяем очередное значение  $X_i$ , имеющее  $|X_i - \bar{X}|$  max среди оставшихся результатов.



4) Вычисляем среднее арифметическое значение  $\bar{X}$  измеряемой физической величины по формуле

$$\bar{X} = \frac{3,24 + 3,20 + 3,26 + 3,21 + 3,22}{5} = \frac{16,13}{5} = 3,23 \text{ мА.}$$

5) Вычисляем среднее квадратическое отклонение результатов измерений:

$$\sigma_{X_i} = \sqrt{\frac{0,0024}{5-1}} = 0,024 \text{ мА;}$$

6) Для определения содержания в значении  $X_i$  грубой погрешности, рассчитываем коэффициент  $t_{\text{расч}}$  и сравниваем его с  $t_{\text{теор}}$ :

$$t_{\text{расч}} = \frac{3,26 - 3,23}{0,024} = 1,25 \text{ мА.}$$

$$t_{\text{теор}} (n = 5; P = 90 \%) = 1,731,$$

$t_{\text{расч}} < t_{\text{теор}}$ , следовательно, значение  $X_i = 3,26$  не содержит грубой погрешности и серия измерений остается без изменений.

7) Определяем среднеквадратическое отклонение среднего арифметического  $\sigma_{\bar{X}}$ :

$$\sigma_{\bar{X}} = \frac{0,024}{\sqrt{5}} = 0,011 \text{ мА.}$$

8) Вычисляем доверительный интервал  $\Delta$  случайной погрешности при доверительной вероятности  $P = 0,9$ :

$$\Delta = \pm 0,011 \cdot 2,132 = \pm 0,023 \text{ мА.}, \text{ где } t_{\text{ст}} = 2,132 \text{ (см. табл. 1).}$$

9) Ответ записываем в следующем виде:

$$X = 3,23 \pm 0,023 \text{ (мА) при } P = 0,9.$$

**Таблица по определению коэффициента Фишера**

<i>n</i>	$\alpha = 1 - P$				<i>n</i>	$\alpha = 1 - P$			
	0,10	0,05	0,025	0,01		0,10	0,05	0,025	0,01
3	1,406	1,412	1,414	1,414	14	2,297	2,461	2,602	2,759
4	1,645	1,689	1,710	1,723	15	2,326	2,493	2,638	2,808
5	1,731	1,869	1,917	1,955	16	2,354	2,523	2,670	2,837
6	1,894	1,996	2,067	2,130	17	2,380	2,551	2,701	2,871
7	1,974	2,093	2,182	2,265	18	2,404	2,557	2,728	2,903
8	2,041	2,172	2,273	2,374	19	2,426	2,600	2,754	2,932
9	2,097	2,237	2,349	2,464	20	2,447	2,623	2,778	2,959
10	2,146	2,294	2,414	2,540	21	2,467	2,644	2,801	2,984
11	2,190	2,383	2,470	2,606	22	2,486	2,664	2,823	3,008
12	2,229	2,387	2,519	2,663	23	2,504	2,683	2,843	3,030
13	2,264	2,426	2,562	2,714	24	2,520	2,701	2,862	3,051
					25	2,537	2,717	2,880	3,071

*Вывод:* результаты кратных измерений находятся в пределах интервала  $(3,23 \pm 0,022 \text{ мА})$  с доверительной вероятностью  $P = 0,9$ .

*Вопрос для самоконтроля.* Что представляет собой коэффициент  $t_{\text{теор}}$ ? Его смысл и способ вычисления.

#### **1.4. Задания к контрольной работе по разделу «Метрология».**

Выбор варианта задачи и теоретических вопросов осуществляется по таблице (по первой букве фамилии слушателя):

1. При измерении силы электрического тока получены следующие значения мА:

Таблица 3

Результаты измерений	Первая буква фамилии									
	А, Л, Х	Б, М, Ц	В, Н, Ч	Г, О	Д, П, Ш	Е, Р, Щ	Ж, С	З, Т, Э	И, У, Ю	К, Ф, Я
X <sub>1</sub>	1,12	2,22	3,12	4,44	5,53	6,23	7,65	8,22	9,33	10,10
X <sub>2</sub>	1,11	2,12	3,12	4,45	5,52	6,26	7,63	8,21	9,31	10,11
X <sub>3</sub>	1,13	2,23	3,15	4,43	5,54	6,32	7,77	8,22	9,32	10,12
X <sub>4</sub>	1,12	2,13	3,17	4,42	5,51	6,33	7,69	8,21	9,34	10,11
X <sub>5</sub>	1,17	2,13	3,18	4,44	5,53	6,43	7,78	8,32	9,35	10,17
X <sub>6</sub>	1,12	2,32	3,22	4,41	5,52	6,43	7,88	8,15	9,39	10,15
X <sub>7</sub>	1,12	2,32	3,21	4,46	5,55	6,44	7,75	8,23	9,43	10,17
X <sub>8</sub>	1,15	2,35	3,14	4,65	5,57	6,53	7,73	8,21	9,38	10,17
X <sub>9</sub>	1,19	2,29	3,19	4,55	5,53	6,34	7,64	8,32	9,39	10,15
X <sub>10</sub>	1,11	2,22	3,32	4,53	5,53	6,31	7,55	8,25	9,42	10,13
X <sub>11</sub>	1,10	2,12	3,22	4,49	5,55	6,34	7,74	8,31	9,44	10,18
X <sub>12</sub>	2,69	2,77	3,99	4,57	6,11	7,77	8,73	9,95	12,12	12,02
X <sub>13</sub>	1,14	2,23	3,21	4,46	5,54	6,32	7,81	8,21	9,38	10,13
X <sub>14</sub>	1,12	2,32	3,14	4,41	5,59	6,25	7,76	8,12	9,43	10,12
X <sub>15</sub>	1,19	2,15	3,18	4,40	5,58	6,27	7,75	8,18	9,42	10,18
X <sub>16</sub>	1,17	2,23	3,17	4,40	5,57	6,29	7,72	8,19	9,39	10,15
X <sub>17</sub>	1,12	2,27	3,23	4,42	5,57	6,32	7,83	8,24	9,38	10,13
X <sub>18</sub>	1,11	2,31	3,22	4,45	5,53	6,33	7,69	8,29	9,39	10,12
X <sub>19</sub>	1,08	2,19	3,15	4,46	5,47	6,31	7,72	8,26	9,43	10,19
X <sub>20</sub>	1,15	2,26	3,16	4,48	5,49	6,35	7,59	8,27	9,45	10,15
Доверительная вероятность										
P, %	90	95	99	90	95	99	90	95	99	90

Предварительно устранив значения, содержащие грубые погрешности, определить действительное значение физической величины  $X$  и оценить доверительный интервал  $\Delta$  для случайной погрешности при доверительной вероятности  $P$ .

2. Необходимо ответить на вопросы п.1.1, номера которых указаны в табл. 4 соответственно своему варианту (последняя цифра номера зачетной книжки) и первой букве фамилии.

Таблица 4

Первая буква фамилии	Последняя цифра номера зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
А,Б,В,Г, Д,Е,Ё,	1, 12, 39	2, 13, 38	3, 14, 37	4, 15, 36	5, 16, 35	6, 17, 34	7, 18, 33	8, 19, 32	9, 20, 31	10, 21, 30
Ж,З,И,К, Л,М,Н,О	11, 22, 29	12, 23, 28	13, 24, 1	14, 25, 2	15, 26, 3	16, 27, 4	17, 28, 5	18, 29, 6	19, 30, 7	20, 31, 8
П,Р,С,Т, У,Ф,Х,	21, 32, 9	22, 33, 10	23, 34, 11	24, 35, 12	25, 36, 13	26, 37, 14	27, 38, 15	28, 39, 16	29, 40, 17	30, 1 18
Ц,Ч,Ш,Щ, Э,Ю,Я.	31, 2, 19	32, 3, 20	33,4, 21	34, 5, 18	35, 6, 17	36, 7, 15	37, 8, 14	38, 9, 13	39, 10, 12	40, 11, 25

## ЛИТЕРАТУРА

### Основная

1. Федеральный закон от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании».
2. Федеральный закон Российской Федерации от 22.07.2008 г. № 123-ФЗ «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
3. Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» от 26 июня 2008 г., № 102-ФЗ.
4. Закон РФ «О защите прав потребителей» от 7 февраля 1992 г. № 2300-1.
5. *Лифиц И.М.* Основы стандартизации, метрологии, сертификации: учебник. – М. : Юрайт, 2010.

### Дополнительная

6. Постановление Правительства РФ от 17.03.2009 г. № 241 «Об утверждении списка продукции, которая для помещения под таможенные режимы, предусматривающие возможность отчуждения или использования этой продукции в соответствии с ее назначением на таможенной территории Российской Федерации, подлежат обязательному подтверждению соответствия требованиям Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности»;
7. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 10 марта 2009 г. № 304-р «Перечень национальных стандартов, содержащих правила и методы исследований (испытаний) и измерений, в том числе правила отбора образцов, необходимые для применения и исполнения Федерального закона «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности» и осуществления оценки соответствия»;
8. Концепция гармонизации Российских и международных нормативных документов в области пожарной безопасности от 18.06.2013 г.
9. *Крылова Г.Д.* Основы стандартизации, сертификации, метрологии. Учебник. – М. : ЮНИТИ, 2005.