

Министерство науки и высшего образования  
Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Кузбасский государственный технический университет  
имени Т. Ф. Горбачева»

Кафедра технологии машиностроения

Составитель  
О. Н. Дегтярева

## **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

**Методические указания к практическому занятию № 2  
по дисциплине «Метрология, стандартизация  
и сертификация»**

Рекомендовано учебно-методической комиссией специальности  
23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства  
в качестве электронного издания  
для использования в учебном процессе

Кемерово 2025

Рецензенты:

Кудреватых А. В., кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой эксплуатации автомобилей, председатель учебно-методической комиссии специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства

Махалов М. С., кандидат технических наук, доцент кафедры технологии машиностроения ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева»

**Дегтярева Ольга Николаевна**

**Обработка результатов косвенных измерений** : методические указания к практическому занятию № 2 по дисциплине «**Метрология, стандартизация и сертификация**» для студентов специальности 23.05.01 Наземные транспортно-технологические средства / Кузбасский государственный технический университет имени Т. Ф. Горбачева ; кафедра технологии машиностроения ; составитель О. Н. Дегтярева. – Кемерово : КузГТУ, 2025. – 1 файл (472 Кб). – Текст : электронный.

В методических указаниях изложен теоретический материал по теме практического занятия, индивидуальные варианты задания, рассмотрен пример выполнения. Приведены контрольные вопросы.

Методические указания предназначены для студентов специальности 23.05.01.02 Наземные транспортно-технологические средства по дисциплине «Метрология, стандартизация и сертификация».

© Кузбасский государственный  
технический университет имени  
Т.Ф. Горбачева, 2025

© О. Н. Дегтярева, составление,  
2025

## **ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗАНЯТИЕ № 2**

### **ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ КОСВЕННЫХ ИЗМЕРЕНИЙ**

#### **1. ЦЕЛЬ И СОДЕРЖАНИЕ ЗАНЯТИЯ**

Цель работы – научиться обрабатывать результаты косвенных измерений.

Содержание работы – определить значение величины, указать доверительные границы истинного значения с заданной вероятностью. Данные для расчетов выбрать согласно номеру варианта.

#### **2. ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПОЛОЖЕНИЯ**

Целью обработки результатов измерений является установление значения измеряемой величины и оценка погрешности результатов измерения.

Косвенные измерения – специфический вид измерений, в котором искомая величина не подвергается инструментальному измерению, а оценивается расчетным путем по зависимости между ней и измеряемыми величинами. Методика обработки результатов косвенных измерений установлена в рекомендации МИ 2083–90 «ГСИ. Измерения косвенные. Определение результатов измерений и оценивание их погрешностей». Важным обстоятельством для рассматриваемой методики является требование, чтобы аргументы, от которых зависит оцениваемая величина, являлись постоянными величинами; известные систематические погрешности результатов измерений аргументов были исключены, а не исключенные систематические погрешности распределены равномерно внутри заданных границ.

При оценивании доверительных границ погрешностей результата косвенных измерений обычно принимают вероятность, равную 0,95 или 0,99. Использование других вероятностей должно быть обосновано.

### 3. ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

3.1. Рассчитать значение косвенно измеряемой величины по заданной формуле.

3.2. Вычислить частные погрешности косвенных измерений для оценки точности полученного результата:

$$E_{xi} = k_i \cdot S_{\bar{x}i}, \quad (1)$$

где  $E_{xi}$  – погрешность косвенного измерения;  $k_i = \partial f / \partial x_i$ ;  $S_{\bar{x}i}$  – СКО величины.

3.3. Найти среднее квадратичное отклонение (СКО) результата косвенного измерения:

$$S_Q = \sqrt{\sum_{i=1}^n (E_{xi})^2}, \quad (2)$$

где  $S_Q$  – СКО результата косвенного измерения;  $E_{xi}$  – погрешность косвенного измерения.

3.4. Рассчитать значения границы погрешности результата измерения  $\Delta$ :

$$\Delta = S_Q \cdot t_p, \quad (3)$$

где  $\Delta$  – значение границы погрешности;  $S_Q$  – СКО результата косвенного измерения;  $t_p$  – коэффициент Стьюдента для данного результата измерения.

3.5. Записать результат косвенного измерения в установленной форме (округлить до значимого числа):

$$X - \Delta \leq X' \leq X + \Delta; \quad (4)$$

$$X' = X \pm \Delta, \quad (5)$$

где  $X$  – значение величины при косвенном измерении;  $\Delta$  – значение границы погрешности,  $X'$  – символ искомой величины.

### 3. ДАННЫЕ ДЛЯ ВЫБОРА ЗАДАНИЯ

Выбрать номер задачи по номеру варианта из табл. 1.

Таблица 1

Таблица для определения номера задачи

| <b>Последняя цифра номера варианта</b> | <b>№</b> | <b>Предпоследняя цифра номера варианта</b> |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|--|----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|  |          | <b>0</b>                                   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> |
|  | <b>0</b> | 1  | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       |
|  | <b>1</b> | 11   | 12       | 13       | 14       | 15       | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        |
|  | <b>2</b> | 7  | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 1        |
|  | <b>3</b> | 3  | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       |
|  | <b>4</b> | 13   | 14       | 15       | 1        | 2        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        |
|  | <b>5</b> | 9  | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 1        | 2        | 3        |
|  | <b>6</b> | 5  | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       |
|  | <b>7</b> | 15   | 1        | 2        | 3        | 4        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       |
|  | <b>8</b> | 11   | 12       | 13       | 14       | 15       | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        |
|  | <b>9</b> | 7  | 8        | 9        | 10       | 11       | 12       | 13       | 14       | 15       | 6        |

Например: для варианта 01 – задача № 2.

«0» – предпоследняя цифра, находим в горизонтальной строке;

«1» – последняя цифра, находим в вертикальном столбце;

на пересечении – номер задачи.

#### **Задача № 1**

Согласно закону Ньютона  $F = m \cdot a$ . Для определения силы измерили массу тела  $m = 60$  кг и ускорение  $a = 2$  м/с<sup>2</sup>. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_m = 0,5$  кг,  $\sigma_a = 0,002$  м/с<sup>2</sup>. Записать доверительные границы истинного

значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,98$  ( $t_p = 2,33$ ).

### **Задача № 2.**

Работа определяется по формуле  $A = F \cdot S$ . Для определения работы измерили величину силы  $F = 80$  Н и площадь  $S = 25$  м<sup>2</sup>. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_F = 0,65$  кг,  $\sigma_S = 0,2$  м<sup>2</sup>. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,90$  ( $t_p = 1,65$ ).

### **Задача № 3.**

Для определения плотности  $\rho = m/V$  измерили массу тела  $m = 120$  кг и объем  $V = 6$  м<sup>3</sup>. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_m = 1,5$  кг,  $\sigma_V = 0,04$  м<sup>3</sup>. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,7$  ( $t_p = 1,03$ ).

### **Задача № 4.**

Величину давления определяют по формуле  $P = F/S$ . Для определения давления измерили значения силы  $F = 1000$  Н и площади  $S = 30$  м<sup>2</sup>. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_F = 4$  Н,  $\sigma_S = 0,08$  м<sup>2</sup>. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,95$  ( $t_p = 1,96$ ).

### **Задача № 5.**

Величину силы тока определяют по формуле  $I = U/R$ . Для определения силы тока измерили значения напряжения  $U = 220$  В и сопротивления  $R = 40$  Ом. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_U = 6$  В,  $\sigma_R = 0,5$  Ом. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,99$  ( $t_p = 2,57$ ).

### **Задача № 6.**

Величину мощности определяют по формуле  $N = A/t$ . Для определения мощности определили значения работы  $A = 290$  Дж

и время  $t = 120$  с. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_A = 12$  Дж,  $\sigma_t = 5$  с. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,80$  ( $t_p = 1,03$ ).

#### **Задача № 7.**

Величину напряженности однородного электрического поля определяют по формуле  $E = U/d$ . Определили значения напряжения  $U = 300$  В и длину линии напряженности  $d = 3$  м. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_U = 20$  В,  $\sigma_d = 0,03$  м. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,60$  ( $t_p = 0,84$ ).

#### **Задача № 8.**

Для определения падения напряжения  $U = I \cdot R$  измерили значения  $I = 60$  А и  $R = 4$  Ом. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_I = 0,15$  А,  $\sigma_R = 0,01$  Ом. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,9$  ( $t_p = 1,644$ ).

#### **Задача № 9.**

Частота колебаний определяют по формуле  $\nu = N/t$  Гц. Измерением получены следующие значения  $N = 200$  шт. и  $t = 30$  с. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_N = 1$  шт.,  $\sigma_t = 0,2$  с. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,99$  ( $t_p = 2,57$ ).

#### **Задача № 10.**

Величина работы определяется по формуле  $A = N \cdot t$ . Измерили значения мощности  $N = 90$  Вт и время  $t = 48$  с. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_N = 0,08$  Вт,  $\sigma_t = 0,03$  с. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,5$  ( $t_p = 0,674$ ).

### **Задача № 11.**

Для определения полной мощности электрического поля используют зависимость  $P = U^2/R$ . Измерением получены следующие значения  $U = 95$  В и  $R = 50$  Ом. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_U = 1,58$  В,  $\sigma_R = 0,9$  Ом. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,95$  ( $t_p = 1,959$ ).

### **Задача № 12.**

Путь при равномерном движении определяют по формуле  $L = U \cdot t$  м. Измерением получены следующие значения  $U = 80$  м/с и  $t = 90$  с. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_U = 0,08$  м/с,  $\sigma_t = 1$  с. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,95$  ( $t_p = 1,959$ ).

### **Задача № 13.**

Период колебания определяют по формуле  $T = t / N$  с<sup>-1</sup>. Измерением получены следующие значения  $N = 8$  м/с и  $t = 120$  с. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_N = 0,01$  м/с,  $\sigma_t = 3$  с. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,5$  ( $t_p = 0,674$ ).

### **Задача № 14.**

Плотность заряда определяют по формуле  $\sigma = Q/S$  Кл/м<sup>2</sup>. Измерением получены следующие значения  $Q = 25$  Кл и  $S = 4$  м<sup>2</sup>. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_Q = 0,07$  Кл,  $\sigma_S = 0,01$  м<sup>2</sup>. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,9$  ( $t_p = 1,644$ ).

### **Задача № 15.**

Формула кинетической энергии  $E = m \cdot U^2/2$  Дж. Измерением получены следующие значения  $m = 75$  кг и  $U = 10$  м/с. Средние квадратические отклонения показаний составили:  $\sigma_m = 0,06$  кг,



$\sigma_U = 0,02$  м/с. Записать доверительные границы истинного значения результата измерения и результат измерения с вероятностью  $P = 0,99$  ( $t_p = 2,57$ ).

#### 4. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЗАДАНИЯ

Дано: Сопротивление нагрузки определяется по закону Ома  $R = U/I$  Ом. Показания вольтметра  $U = 100$  В, амперметра  $I = 2$  А. Среднее квадратическое отклонение показаний: вольтметра  $\sigma_U = 0,5$  В, амперметра  $\sigma_I = 0,05$  А. Записать доверительные границы истинного значения и результат измерения сопротивления с вероятностью  $P = 0,95$  ( $t_p = 1,96$ ).

1. Рассчитать значение косвенно измеряемой величины по заданной формуле:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{100}{2} = 50 \text{ Ом.}$$

2. Вычислить частные погрешности косвенных измерений для оценки точности полученного результата по формуле (1):

$$E_U = \frac{R}{U} \cdot \sigma_U = \frac{50}{100} \cdot 0,5 = 0,25 \text{ Ом;}$$

$$E_I = \frac{R}{I} \cdot \sigma_I = \frac{50}{2} \cdot 0,05 = 1,25 \text{ Ом.}$$

3. Найти среднее квадратичное отклонение (СКО) результата косвенного измерения по формуле (2):

$$S_Q = \sqrt{E_U^2 + E_I^2} = \sqrt{0,25^2 + 1,25^2} = 1,2747.$$

4. Рассчитать значения границы погрешности результата измерения  $\Delta$  по формуле (3):

$$\Delta = 1,96 \cdot 1,2747 = 2,498.$$

5. Записать результат косвенного измерения в установленной форме.

Границы доверительного интервала по формуле (4):

$$50 - 2,498 \leq R \leq 50 + 2,498;$$

$$47,5 \leq R \leq 52,5; P = 0,95.$$

Значение величины по формуле (5):

$$R = 50 \pm 2,5; P = 0,95.$$

## 5. ОФОРМЛЕНИЕ ОТЧЕТА

Результаты практической работы оформить на листах формата А4 с рамками по ГОСТ 2.105–2019. На титульном листе указать: фамилию, группу, номер варианта, номер задания.

## 6. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

6.1. Виды погрешностей измерения.

6.2. Последовательность обработки результатов косвенных измерений.

6.3. Какое измерение называется косвенным.

## 7. СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

7.1. Метрология, стандартизация и сертификация : учебник для студентов вузов, обучающихся по машиностроительным направлениям подготовки и специальностям / А. И. Аристов [и др.]. – 3-е изд., перераб. – Москва : Академия, 2008. – 384 с.