

Министерство образования Российской Федерации  
Санкт-Петербургский государственный университет  
низкотемпературных и пищевых технологий



Кафедра автоматики и автоматизации  
производственных процессов

# **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИСТЕ- МАТИЧЕСКОЙ И СЛУЧАЙНОЙ СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ**

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
для студентов всех специальностей

Санкт-Петербург 2003

УДК 621.317.08

**Усачев Ю.А., Замарашкина В.Н.** Экспериментальное определение систематической и случайной составляющих погрешности средства измерения: Метод. указания по выполнению лабораторной работы для студентов всех спец. – СПб.: СПбГУНиПТ, 2003. – 10 с.

Приведены методики экспериментального определения систематической и случайной составляющих погрешности средства измерения на примере тензометрических весов.

Рецензент

Канд. техн. наук, доц. Н.А. Афанасьева

Одобрены к изданию советом факультета техники пищевых производств

© Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий, 2003

Цель работы: уяснить характер проявления и причины возникновения случайной и систематической составляющих погрешности средства измерения, а также освоить методики экспериментального определения их численного значения на примере тензометрических весов.

## ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Погрешность  $\Delta$  результата измерения, полученного при прямом измерении с помощью любого средства измерения (СИ), может быть найдена из выражения

$$\Delta = x_{п.п} - x_{д}, \quad (1)$$

где  $x_{п.п}$  – показания прибора;  $x_{д}$  – действительное значение измеряемой величины.

Если отклонение показаний прибора от действительного значения измеряемой величины будет определяться только несовершенством СИ, то погрешность данного СИ будет равна погрешности результата измерения, найденного из выражения (1). Указанное положение справедливо при прямых измерениях массы тел, напряжения и силы электрического тока, длины детали или диаметра отверстия, температуры, давления и т.п.<sup>1</sup>.

Найденная из выражения (1) погрешность СИ будет содержать как систематическую ( $\Delta_c$ ), так и случайную ( $\Delta$ ) составляющие погрешности

$$\Delta = \Delta_c + \Delta.$$

Отнесение погрешности СИ к систематической или случайной зависит только от поведения погрешности в процессе измерений. А поведение, в свою очередь, определяется различными факторами, оказывающими влияние на погрешность.

---

<sup>1</sup> Для многих других измерений, например показателей качества сырья и готовой продукции пищевых производств, это условие не соблюдается, и по отношению к ним дальнейшие рассуждения неправомерны.

Случайная погрешность возникает под влиянием многих факторов, действующих на прибор одновременно, и при этом значение каждого фактора непредсказуемо меняется. Поэтому и значение случайной погрешности в каждый конкретный момент непредсказуемо.

Систематическая погрешность может возникать под влиянием одного или нескольких влияющих факторов, значение которых остается неизменным в процессе проведения измерений. Если значение систематической составляющей погрешности известно, то она может быть исключена из результата измерения  $A$  путем введения поправки  $q$ , которая равна систематической погрешности, взятой с обратным знаком,

$$A_{\text{и}} = A + q,$$

$$q = -\Delta_{\text{с}},$$

где  $A_{\text{и}}$  – исправленный результат измерения.

Систематическая составляющая погрешности может иметь различные значения в разных точках шкалы прибора, поэтому необходимо определить ее значение в нескольких точках диапазона измерения прибора (3–5 точек).

Одним из приемов исключения систематической составляющей погрешности из результата измерения является метод построения графика поправок, который строится по результатам найденных значений поправок в различных точках шкалы. Пример такого графика приведен на рис. 1, на котором по одной оси откладываются значения поправок  $q$  в различных точках шкалы прибора (например, весов), обозначаемых по другой оси.

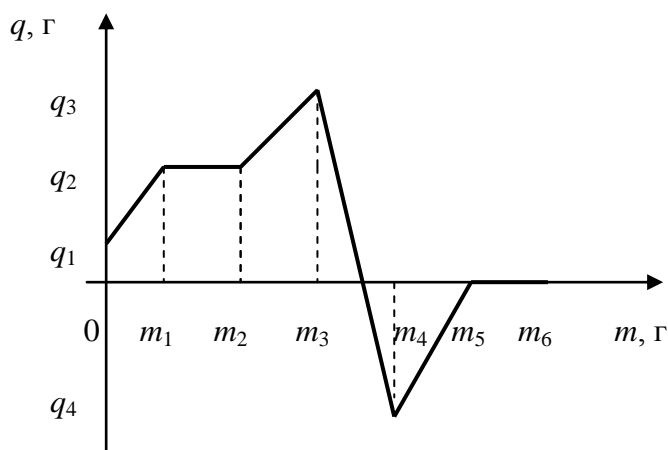


Рис. 1. График поправок

Зная, что систематическая составляющая погрешности остается постоянной при повторных измерениях одного и того же значения измеряемой величины, а случайная составляющая погрешности может принимать различные значения и их невозможно предсказать, можно предложить следующую методику определения  $\Delta_c$  и  $\Delta$  на примере тензометрических весов.

Если произвести на весах взвешивание образцовой гири известной массы  $m_d$ , то полученный первый результат взвешивания  $m_1$  будет складываться из суммы значений действительной массы гири  $m_d$ , систематической  $\Delta_c$  и случайной  $\Delta$  составляющих погрешности:

$$m_1 = m_d + \Delta_{c1} + \Delta_1 .$$

Повторив измерение массы гири  $n$  раз, получим систему уравнений:

$$m_1 = m_d + \Delta_{c1} + \Delta_1 ,$$

$$m_2 = m_d + \Delta_{c2} + \Delta_2 ,$$

$$m_3 = m_d + \Delta_{c3} + \Delta_3 ,$$

.....

$$m_n = m_d + \Delta_{cn} + \Delta_n .$$

Сложим левые и правые части уравнений и с учетом того, что  $\Delta_{c1}=\Delta_{c2}=\dots=\Delta_{cn}=\Delta_c$ , получим

$$\sum_{(i)} m_i = nm_d + n\Delta_c + \sum_{(i)} \Delta_i , \tag{2}$$

где  $m_i$ ,  $\Delta_i$  – результат  $i$ -го измерения и его случайная составляющая погрешности соответственно.

После деления левой и правой частей уравнения (2) на  $n$  получим

$$\frac{\sum_{(i)} m_i}{n} = m_{\text{д}} + \Delta_{\text{с}} + \frac{\sum_{(i)}^0 \Delta}{n}. \quad (3)$$

Левая часть равенства (3) представляет собой, с одной стороны, среднее арифметическое значение из  $n$  результатов взвешивания  $\left( \sum_{(i)} m_i / n = \bar{m} \right)$ , а с другой стороны – результат многократных измерений, который мы принимаем за массу взвешиваемой гири  $\left( \sum_{(i)} m_i / n = A \right)$ .

Третье слагаемое, входящее в выражение (3), представляет собой сумму случайных составляющих погрешностей, которые имели место при проведении данных многократных измерений. При этом  $i$ -я случайная составляющая погрешности находится как разность между  $i$ -м результатом измерения и средним арифметическим значением результатов всех измерений

$$\Delta_i = m_i - \bar{m}. \quad (4)$$

Если учесть, что по определению среднее арифметическое значение является центром рассеивания случайной величины, т. е. сумма всех положительных отклонений от  $\bar{m}$  равна сумме всех отрицательных отклонений от  $\bar{m}$ , то полная сумма всех  $n$  отклонений результатов измерений от среднего значения  $\bar{m}$  должна равняться нулю:

$$\sum_{(i)}^0 \Delta = 0.$$

С учетом вышеизложенного, выражение (3) принимает вид:

$$\bar{m} = m_{\text{д}} + \Delta_{\text{с}}.$$

Откуда

$$\Delta_c = \bar{m} - m_d,$$

т. е. систематическая составляющая погрешности тензометрических весов может быть определена как разность между средним значением массы гири, найденным по результатам многократных измерений, и действительным значением массы гири.

Случайная составляющая погрешности весов оценивается количественно как среднеквадратическое отклонение  $\sigma(\Delta)$  случайной величины  $m_i$  от среднего значения (см. выражение (4)), которое определяется из выражения

$$\sigma(\Delta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{(n-1)}}. \quad (6)$$

## ОПИСАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ

При выполнении лабораторной работы используются следующие средства измерений:

1. Весы лабораторные тензометрические ВЛТ1500-П, разработанные и выпускаемые совместным российско-германским предприятием ЗАО «Сартогосм» (Санкт-Петербург). Технические характеристики весов:

- верхний предел взвешивания – 1500 г;
- дискретность отсчета – 10 мг;
- предел допускаемой погрешности –  $\pm 30$  мг;
- класс точности – 4.

Весы снабжены интерфейсом RS-232 для подключения к персональному компьютеру.

2. Гири образцовые 2-го класса массой 100, 200, 500 и 1000 г.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ РАБОТЫ**

1. Изучить содержание данных методических указаний и получить допуск к выполнению работы.
2. Получить у преподавателя набор образцовых гирь и произвести серию многократных измерений с каждой из них ( $n = 15 \dots 20$ ).
3. Определить по описанной выше методике систематическую и случайную составляющие погрешности весов.
4. Построить график поправок.

### **СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА**

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

- сведения об используемых средствах измерений;
- таблицу экспериментальных данных;
- результаты обработки экспериментальных данных;
- график поправок.

### **ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОПРОВЕРКИ**

1. Как проявляют себя систематическая и случайная погрешности измерительного прибора (ИП) при:
  - однократных измерениях;
  - многократных измерениях?
2. На что влияет присутствие случайной и систематической погрешностей у измерительного прибора?
3. С какой целью находят численные значения систематической и случайной погрешностей ИП?
4. Какие операции необходимо произвести, чтобы найти численные значения систематической и случайной погрешностей весов?
5. Для чего необходимо строить график поправок?
6. Кто и как может воспользоваться графиком поправок?
7. Можно ли исключить из результата измерений:
  - систематическую погрешность;
  - случайную погрешность?



8. В методических указаниях встречается упоминание о двух случайных погрешностях  $\Delta^0$  и  $\sigma(\Delta^0)$ . Что характеризует каждая из них?

9. Что нужно сделать, чтобы, не прибегая к численному определению значения случайной погрешности, ответить на вопрос: «Какой из трех имеющихся в нашем распоряжении ИП имеет меньшую случайную погрешность»?

Усачев Юрий Алексеевич  
Замарашкина Вероника Николаевна

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
СИСТЕМАТИЧЕСКОЙ И СЛУЧАЙНОЙ  
СОСТАВЛЯЮЩИХ ПОГРЕШНОСТИ  
СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ**

Методические указания  
по выполнению лабораторной работы  
для студентов всех специальностей

*Редактор*

Р.А. Сафарова

*Корректор*

Н.И. Михайлова

---

Подписано в печать 27.12.2003. Формат 60×84 1/16.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 0,7. Печ. л. 0,75. Уч.-изд. л. 0,5  
Тираж 50 экз. Заказ ? С 101

---

СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9  
ИПЦ СПбГУНиПТ. 191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9