Энгельсский технологический институт (филиал) федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования
«Саратовский государственный технический университет имени
Гагарина Ю.А.»

# Лабораторная работа №5

# Измерение физической величины. Математическая обработка результатов измерений

Методические указания к выполнению лабораторной работы
по курсу «Метрология, стандартизация и сертификация»
для студентов направлений

15.03.02 «Технологические машины и оборудование»
15.03.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение
машиностроительных производств»
23.03.01 «Нефтегазовое дело»
29.03.05 «Конструирование изделий легкой промышленности»

очной и заочной формы обучения

**Энгельс 2025**

## Измерение физической величины. Математическая обработка результатов измерений

**Цель работы**: приобретение практических навыков выполнения измерения физических величин и обработка результатов измерений.

**Характер выполнения работы**: каждый студент выполняет работу индивидуально.

### Теоретическая часть

*Измерение* – это определение значения физической величины опытным путём с помощью специально предназначенных для этого технических средств. При измерениях получают количественную информацию об измеряемой величине. По способу получения числового значения измеряемой величины все измерения делят на прямые, косвенные, совокупные, совместные.

Совокупность приёмов использования, принципов и средств измерений называют *методом измерений*. Важнейшими являются следующие методы измерений: непосредственной оценки, сравнение с мерой, противопоставление, замещения, нулевой, дифференциальный, перестановки, дополнения, совпадений.

Для измерения физических величин используют технические средства. Технические средства, которые используют при измерениях и имеют нормированные метрологические характеристики, называют *средствами измерений*.

Все средства измерений подразделяют на меры, измерительные преобразователи, измерительные приборы, измерительные установки и системы.

К метрологическим характеристикам средств измерений относят: вид шкалы, цена деления, класс точности прибора.

Шкалы приборов характеризуются такими показателями: предел измерения по шкале прибора, цена деления шкалы.

Под *классом точности* средств измерения (ГОСТ 16263-70) понимается такая обобщённая характеристика, которая определяется пределами допускаемых основных и дополнительных погрешностей, а также другими свойствами средств измерений, влияющих на точность измерений.

Обозначение класса точности прибора наносится на циферблаты, щитки и корпуса средств измерений, приводятся в нормативных документах и могут быть представлены в различном виде.

Средствам измерений (ГОСТ 13600-80), пределы допускаемых погрешностей которых выражаются в виде приведённых погрешностей, должны присваиваться классы точности, выбираемые из ряда чисел (1; 1,5;

1,6; 2,5; 3; 4; 5; 6) x $10^{п}$, где п = 1, 0,-1, -2 и т.д. Это означает, что значение измеряемой величины не отличается от того, что показывает указатель отсчётного устройства, более, чем на соответствующее число процентов от верхнего предела измерений.

Обозначения могут иметь форму заглавных букв латинского алфавита (например, М, С и т.д.) или римских цифр (I, II, III, IV и т.д.) с добавлением условных знаков, обозначаться в виде дроби (0,02/0,01). Смысл таких обозначений раскрывается в нормативной документации. Существуют и другие обозначения классов точности средств измерений.

Класс точности является обобщённой характеристикой средств измерений. Знание его позволяет определить не точность конкретного измерения, а лишь указать пределы, в которых находится значение измеряемой величины. Ошибки измерений могут возникать по многим причинам.

Однако даже при соблюдении всех условий достаточно точно измерить значение физической величины при однократном измерении сложно, поэтому проводят многократные измерения физической величины.

При проведении в одинаковых условиях повторных измерений одной и той же величины получаются результаты наблюдений, которые в ряде случаев отличаются друг от друга, а в ряде совпадают. Такие расхождения в результате измерения говорят о наличии в них случайных погрешностей, а также присутствии промахов (грубых погрешностей). Целью обработки результатов измерений является установление значения измеряемой величины и погрешности полученного результата. Для получения оценки измеряемой величины максимально близкой к истинному значению необходимо по экспериментальным данным, выявить и исключить промахи, найти оценку математического ожидания отдельных результатов наблюдений, оценить систематическую погрешность и исключить её из оценки математического ожидания. Точность оценки математического ожидания ряда наблюдений зависит от количества выполненных измерений и от дисперсии случайной составляющей погрешности. Поэтому по экспериментальным данным приходится оценивать не только математическое ожидание, но и дисперсию.

## Материальное обеспечение

Вертикальный оптиметр, калибры гладкие для отверстий, плоскопараллельные концевые меры длины.

## Порядок выполнения работы

Работу выполняют в следующем порядке:

- определение вида и метода измерений, типа средств измерений;
- определение класса точности прибора, погрешности измерений;
- ознакомление с устройством прибора и порядком работы на нём;

- выполнение многократных измерений значений физической величины;
- обработка полученных экспериментальных данных и оценка погрешности измерения;
- оформление отчёта.

## Методика эксперимента

Измерения выполняют на вертикальном оптиметре. Внешний вид прибора представлен на рис. 1.

По номинальному размеру детали набирают блок плоскопараллельных мер длины. Установив блок плиток на столик 6 оптиметра и убедившись, что кронштейн 4 опирается на кольцо 10, отвернуть винт 9 и, вращая кольцо 10, переместить кронштейн 4 вместе с трубкой 1 так, чтобы между измерительным наконечником и плоскостью меры блока остался зазор 0,5-1 мм. Закрепить кронштейн на стойке винтом 9. Освободить стопорный винт 11 столика и, наблюдая за показаниями шкалы оптиметра, вращать гайку 12 по часовой стрелке (подъем столика) до тех пор, пока нулевой штрих шкалы не совпадет с неподвижным штрихом. Закрепить в этом положении столик винтом 11.

Затем установить контролируемую деталь и измерить ее. При измерении необходимо следить за тем, чтобы образующая детали плотно прилегала к поверхности столика. В случае измерения цилиндрической детали ее необходимо перемещать по столику. При отсчете обратить внимание на знаки отклонений, которые указаны на шкале оптиметра. Измерение выполнить не менее трех раз (следует измерить диаметр проходной стороны калибра-пробки во взаимно перпендикулярных направлениях, по 4 раза в каждом направлении).

## Обработка результатов с многократными измерениями

Полученные данные обрабатывают в следующей последовательности:

1. Исключают грубые погрешности (промахи).

Для этого располагают все измерения в порядке возрастания и определяют «выскакивающие» величины, наибольшие или наименьшие. Если величина имеет наибольшее крайнее значение, то составляют отношение

$$Q = \frac{x_n - x_{n-1}}{x_n - x_1}, \qquad (1)$$

где числитель – разность между предполагаемыми крайним «выскакивающим» значением и значением, которое ему предшествует;

знаменатель – разность между наибольшим и наименьшим значением измерений.

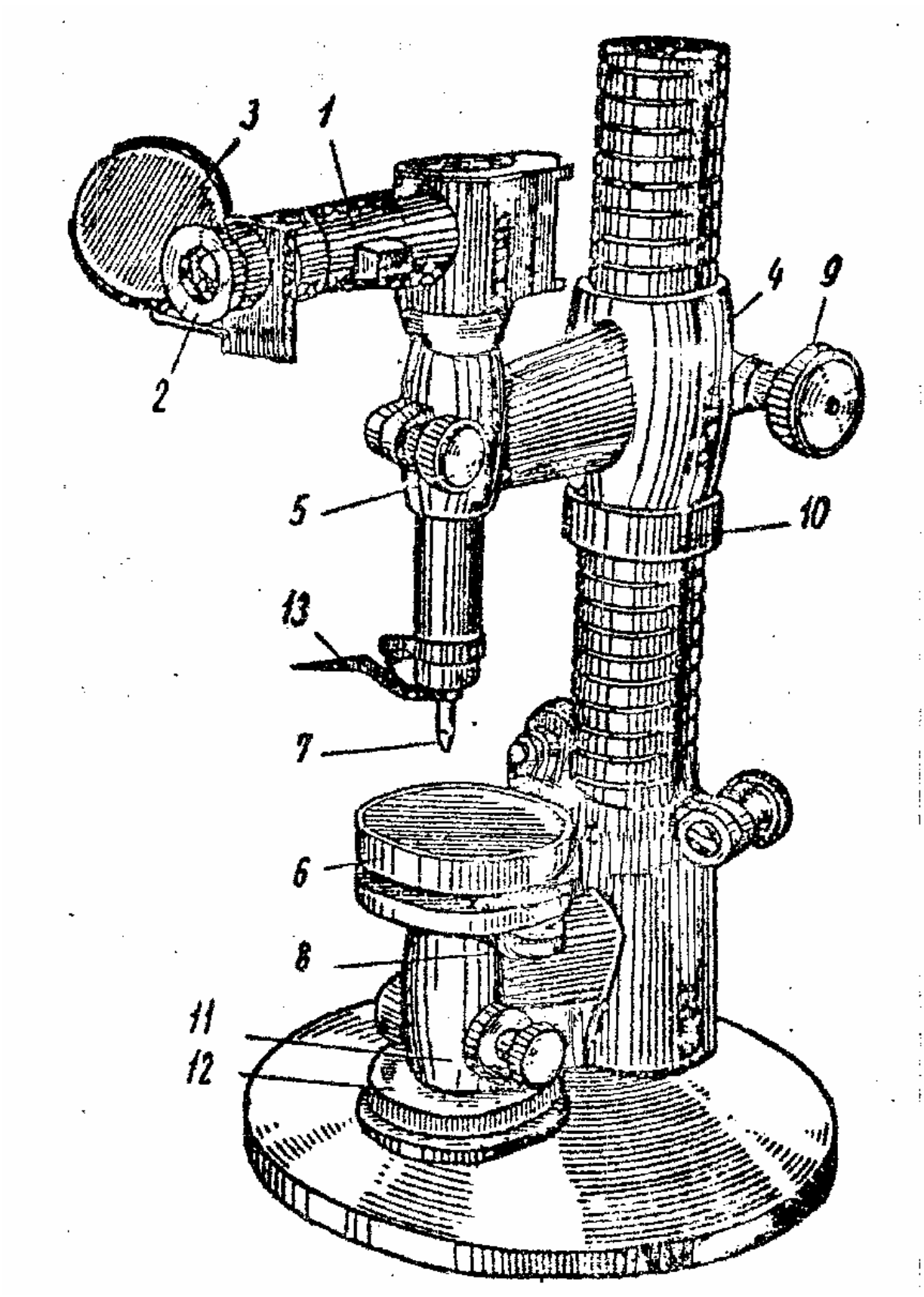


Рис. 1. Вертикальный оптиметр

2. Вычисленную величину «Q» оценивают с помощью табличного значения, которое выбирают в соответствии с выбранным значением уровня значимости числа измерений «n».

Наличие «выскакивающего» значения будет доказано, если «Q» вычисленное будет больше, чем табличное значение «Q» (табл. 1).

Также можно провести и предположение о том, что «выскакивающей» величиной являются крайнее наименьшее значение. Рассчитывают аналогичное вышеописанному отношение

$$Q = \frac{x_2 - x_1}{x_n - x_1}, \qquad (2)$$

и сравнивают с табличным значением.

Таблица 1

Значение критерия «Q» для определения грубых ошибок

| Число измерений | q = 0,05 | q = 0,01 |
|---|---|---|
| 3 | 0,941 | 0,988 |
| 4 | 0,765 | 0,889 |
| 5 | 0,642 | 0,780 |
| 6 | 0,560 | 0,698 |
| 7 | 0,507 | 0,637 |
| 8 | 0,468 | 0,590 |
| 9 | 0,437 | 0,555 |
| 10 | 0,412 | 0,527 |
| 11 | 0,392 | 0,502 |
| 12 | 0,376 | 0,482 |
| 15 | 0,338 | 0,438 |
| 20 | 0,300 | 0,391 |

3. Определяют среднее арифметическое значение $\bar{x}$ результатов наблюдений $x_i$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \qquad (3)$$

где $x_i$ - значение параметра в отдельном опыте;

n – число изменений.

4. Определяют отклонение для среднего значения для каждого результата $(x_1 - \bar{x})$ и полученное отклонение возводят в квадрат. Полученные результаты заносят в табл. 2.

Таблица 2

Определение суммы квадрата отклонения

| Число измерений | Результаты отдельных измерений | Отклонения от среднего арифметического | Квадрат отклонения |
|---|---|---|---|
| | $x_i$ | $x_i - \bar{x}$ | $(x_i - \bar{x})^2$ |
| 1<br>2<br>3<br>и т.д. | | | |
| | $\sum x_i$ | $\sum (x_i - \bar{x})$ | $\sum (x_i - \bar{x})^2$ |

5. Вычисляют экспериментальную оценку дисперсии воспроизводимости $S^2(x_i)$

$$S^2(x_i) = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \quad (4)$$

6. Вычисляют экспериментальную оценку стандартного отклонения отдельного определения S ($x_i$)

$$S(x_i) = \sqrt{S^2}(x_i), \quad (5)$$

7. Вычисляют экспериментальную оценку стандартного отклонения среднего результата $S(\bar{x})$

$$S(\bar{x}) = \frac{S(x_i)}{\sqrt{n}}, \quad (6)$$

8. Получают надёжность полученных результатов по критерию Стьюдента t α при избранной доверительной вероятности α (0,95 или 0,99). Критерий Стьюдента находят по табл. 3, в зависимости от уровня значимости q, который при заданной вероятности равен 0,05 или 0,01 соответственно, и числа степеней свободы f, которое зависит от количества опытов n

$$f = n - 1. \quad (7)$$

Найдя tα, зная стандартное отклонение среднего результата, рассчитывают ошибку полученного среднего результата ξα

$$\xi_\alpha = t\alpha \cdot s(\bar{x}), \quad (8)$$

9. Устанавливают интервал, в котором с выбранной доверительной вероятностью α находится средний результат

$$\bar{x} \pm \xi\alpha, \quad (9)$$

Таблица 3

Значение критерия Стьюдента при различных уровнях значимости

| Число степеней свободы, f | Уровень значимости, q | |
|---|---|---|
| | при 0,05 | при 0,01 |
| 1 | 12,71 | 63,66 |
| 2 | 4,30 | 9.93 |
| 3 | 3,18 | 5,84 |
| 4 | 2,78 | 4,60 |
| 5 | 2,57 | 4,03 |
| 6 | 2,45 | 3,71 |
| 7 | 2,37 | 3,50 |
| 8 | 2,31 | 3.36 |
| 9 | 2,26 | 3,25 |
| 10 | 2,23 | 3,17 |
| 11 | 2,20 | 3,11 |
| 12 | 2,18 | 3,06 |
| 13 | 2,16 | 2,01 |
| 14 | 2,15 | 2,98 |
| 30 | 2,04 | 2,75 |

10. Определяют относительную ошибку $\Delta x_i$, %

$$\Delta x_i = \frac{\xi_\alpha \cdot 100}{\bar{x}}, \qquad (10)$$

Если относительная ошибка оказывается больше 10 %, это указывает на то, что грубые ошибки полностью не были исключены. Тогда выявляют вновь грубые ошибки и производят повторную обработку экспериментальных данных.

## Оформление отчёта

При оформлении отчёта указывается название, цель работы, вид и метод измерения. Производится рисунок шкалы прибора и его характеристика: предел, цена деления, класс точности.

Приводятся полученные экспериментальные данные и математическая обработка результатов исследования.

## Контрольные вопросы

1. Что такое измерение?
2. Классификация измерений по видам и методам.
3. Приведите классификацию средств измерений.

4. Что называется метрологическими характеристиками средств измерений?

5. Что понимается под классом точности средств измерений?

6. Как обозначается класс точности измерительных приборов?

7. Приведите последовательность обработки экспериментальных данных.

8. Что такое «промахи» и грубые погрешности?

9. Каков порядок исключения грубых погрешностей?

10. Что такое систематическая погрешность?

11. Как можно исключить систематические погрешности (до начала измерения, в процессе измерения)?

12. Какие методы измерений применяют при оценке качества сырья, полуфабрикатов и готовой продукции?

13. Какая доверительная вероятность считается достаточно надёжной?

## Литература

1. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.

2. ГОСТ 8.513-84. ГСИ. Поверка средств измерений. Организация и порядок проведения.

3. ГОСТ 8.057-80. ГСИ. Эталоны единиц физических величин. Основные положения

4. ГОСТ 8.381-80. ГСИ. Эталоны. Способы выражения погрешностей.

5. ГОСТ 8.401-80. ГСИ. Классы точности средств измерений. Общие требования.

6. Радкевич Я.М. Метрология, стандартизация и сертификация [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Радкевич Я.М., Схиртладзе А.Г., Лактионов Б.И.— Электрон. текстовые данные.— Саратов: Вузовское образование, 2012.— 790 с.
Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/34757.— ЭБС «IPRbooks», по паролю