



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ДГТУ)**

Кафедра «Управление качеством»

## **Методические указания**

к лабораторным работам  
по дисциплине  
«Методы и средства измерений и контроля »

Ростов-на-Дону  
ДГТУ  
2023

УДК 006.1

Составители: Зайцева И.А., Сетракова Т.В., Сорочкина О.Ю

Методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Методы и средства измерений и контроля» для студентов, обучающихся по направлению «Стандартизация и метрология» / Ростов н/Д, Издательский центр ДГТУ, 2023. – \_\_\_\_с.

Методические указания содержат цели и задачи лабораторных работ, общие положения, индивидуальные задания для выполнения, требования к отчёту.

Методические указания предназначены для студентов, обучающихся по направлению 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

Ответственный за выпуск зав. кафедрой «Управление качеством»  
д-р техн. наук, профессор В.П. Димитров

---

В печать \_\_\_\_ . \_\_\_\_ . 2023 г.  
Формат 60×84/16. Объем \_\_\_\_ усл. п. л.  
Тираж \_\_\_\_ экз. Заказ №. \_\_\_\_.

---

Издательский центр ДГТУ  
Адрес университета и полиграфического предприятия:  
344000, г. Ростов-на-Дону, пл. Гагарина, 1

© Донской государственный  
технический университет,  
2023

## Содержание

Лабораторная работа № 1 «Влагомер для определения влажности древесины»	4
Лабораторная работа № 2	
Лабораторная работа № 3	
Лабораторная работа № 4	
Лабораторная работа № 5	
Лабораторная работа № 6	
Лабораторная работа № 7	
Лабораторная работа № 8	

## **Лабораторная работа №1**

### **«ВЛАГОМЕР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ»**

#### **1 Цель работы**

Изучение методов измерения влажности, принципа действия и конструкции электронного влагомера, аттестация и привитие навыков работы по оценке влажности образцов различных пород древесины.

#### **2 Оборудование**

- 2.1 Электронный влагомер древесины ЭВ-2к.
- 2.2 Иглодержатель с иглами в комплекте.
- 2.3 Магазин сопротивлений РЗЗ.
- 2.4 Соединительные провода.
- 2.5 Термометр бытовой.

#### **3 Методы измерения влажности**

##### **3.1 Общие сведения**

Влага является одним из обязательных компонентов большинства материалов. От влажности зависят физические, химические, механические и технологические свойства значительной части неметаллов, которые применяются в различных отраслях. Процессы сушки и увлажнения предназначены для изменения влажности твердых материалов, в частности, древесины, поэтому вопросы количественного определения влагосодержания в настоящее время являются весьма актуальными.

Методы измерения влажности принято делить на прямые и косвенные. При прямых методах производится непосредственное разделение материала на сухое вещество и влагу. В косвенных методах измеряется величина, косвенно связанная с влажностью материала. Косвенные методы требуют предварительной калибровки с целью установления зависимости между влажностью материала и измеряемой физической величиной.

##### **3.2 Прямые методы**

Наиболее распространенным прямым методом является метод высушивания (термогравиметрический), заключающийся в воздушно-тепловой сушке образца материала до достижения равновесия с окружающей средой, это равновесие условно считается равнозначным полному удалению влаги.

В дисциплинарных методах исследуемый образец подогревается в сосуде с определенным количеством жидкости, не смешивающейся с водой (бензин, бензол, толуол, ксилол, минеральное масло и т.д.). Выделяющиеся пары воды вместе с парами жидкости подвергаются отгонке и, проходя через холодильник, конденсируются в измерительном сосуде, в котором измеряется объем или масса воды.

Экстракционные методы основаны на извлечении влаги из исследуемого образца твердого материала водопоглощающей жидкостью (диоксан, спирт) и определении характеристик жидкого экстракта, зависящих от его влагосодержания - плотности, показателя преломления, температуры кипения или замерзания и т.п.

Основой химических методов является обработка образца твердого материала реагентов, вступающим химическую реакцию только с влагой, содержащейся в образце. Количество воды в образце определяется по количеству жидкого или газообразного продукта реакции.

### 3.3 Косвенные методы

Механические методы основаны на измерении изменяющихся с влажностью механических характеристик твердых материалов: сопротивление раздавливанию (зерна), сопротивление вдавливанию (металлической иглы, конуса, ножа), сопротивление деформирующему усилию, давление при уплотнении образца в фиксированном объеме и др. Этим методам, отличающимся своей простотой свойственна низкая точность.

Важнейшими и наиболее распространенными из косвенных методов являются физические методы, которые основаны на преобразовании влажности в другую физическую или физико-химическую величину, более удобную для измерения и дальнейших преобразований. Характер измеряемого свойства служит признаком классификации физических методов измерения влажности на электрические и неэлектрические.

К важнейшим неэлектрическим относятся методы, основанные на использовании:

- теплофизических характеристик материала - зависимости коэффициентов тепло и температуропроводности, а также удельной теплоёмкости от влажности;
- акустических свойств материала - зависимости характеристик звуковых колебаний от среды, в которой распространяется звук;
- радиометрических свойств материала при применении различных видов излучения.

Общими достоинствами методов является неконтактный способ измерения, отсутствие нарушения различных полей в объекте измерения, высокая чувствительность и безынерционность. В то же время для их применения требуется сложная и громоздкая аппаратура.

Основой электрических методов измерения влажности являются зависимости, характеризующие поведение влагосодержащих материалов в электрических полях.

В частности, древесина, являясь в сухом виде диэлектриком с удельным объемным сопротивлением  $\rho_v = 10^{10} \dots 10^{15} \text{ом} \cdot \text{см}$  и выше, в результате увлажнения становится полупроводником, величина  $\rho_v$  понижается до  $10^{-2} \dots 10^{-3} \text{ом} \cdot \text{см}$ .

Измерения влажности сопровождаются затруднениями при оперировании удельными электрическими характеристиками, которые не являются строго неизменными.

Можно, однако, установить некоторые общие закономерности и, в первую очередь, закон зависимости сопротивления от влажности. На рисунке 1 приведены в полулогарифмических координатах зависимости сопротивления  $R_x$  от влажности различных материалов. Характерно, что для всех рассмотренных материалов органического происхождения эта зависимость представляет собой степенную функцию

$$R_x = \frac{C}{U^k}$$

где:  $U$  – влагосодержание;  $C$  и  $K$  – положительные постоянные, зависящие от исследуемого материала.

Графики функции представляют собой кривых, асимптотически приближающиеся к оси  $U$ . Сама функция  $R_x(W)$ , используемая в электрических влагомерах, имеет два характерных участка:

- Начальный участок, соответствующий низкой и средней влажности, характеризуется очень высокой крутизной и в полулогарифмических координатах может быть аппроксимирован прямой

$$\lg R_x = a - bW,$$

где  $a$  и  $b$  – постоянные, зависящие от материала и условий измерения.

На этом участке влагомер имеет очень высокую чувствительность к измерениям влажности, являющейся основной величиной, которая определяет величину  $R_x$ , влияние других факторов незначительно.

- Участок повышенной влажности характеризуется значительным снижением крутизны характеристики  $R_x(W)$  и соответственно чувствительности влагомера с ростом влажности. На величину измеряемого сопротивления начинают оказывать превалирующее

влияние факторы, не связанные с влажностью (химический состав и т.д).

Начиная с определённых значений влажности применение данного метода становится практически невозможным в следствие недостаточной чувствительности и больших погрешностей влагомера.

Кривая  $R_x(W)$  не имеет точек перегиба и переход от первого участка ко второму происходит плавно. Можно считать, что для большинства твёрдых материалов граница между ними близка к максимальной гигроскопической влажности. Очевидно, что область применения метода ограничена первым участком характеристики  $R_x(W)$ . При этом нижний предел измерений ограничен трудностями, связанными с измерением очень больших сопротивлений ( $R_x \geq 10^{11} \dots 10^{12} \text{ ом}$ ), и для большинства твёрдых материалов соответствует влажности 5-8%

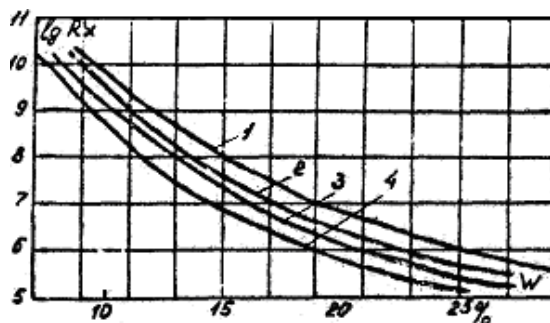


Рисунок 1- Зависимость сопротивления датчика от влажности древесины: 1 – ель, 2 – сосна, 3 – берёза, 4 – дб и бук.

#### 4 Назначение, конструкция и принцип действия электронного влагомера

Электронный влагомер ЭВ-2К предназначен для измерения влажности изделий из химически необработанной древесины путём внедрения вдоль её волокон игл датчика на глубину 3-5мм. Влагомер может использоваться как на открытом воздухе, при температуре 5 ... 40°C и влажности окружающей Среды до 90%, так и в закрытых помещениях.

Шкала влагомера отградуирована в процентах влажности по древесине сосны и имеет два диапазона: от 7% до 22% и от 22% до 60%, в соответствии с требуемым положением переключателя. Влажность остальных пород древесины определяется по переводной таблице (таблица А1 приложения А).

Принцип работы основан на зависимости электрического сопротивления древесины от влажности. На первом диапазоне измерения прибор выполнен по схеме лампового омметра (рисунок 2а).

Сопротивление древесины  $R_x$ , резисторы  $R_1$  и  $R_2$  образуют делитель. Напряжение на его выходе измеряется ламповым вольтметром, выполненным

по мостовой схеме. К выходу усилителя подключен показывающий прибор (микроамперметр на 50 мА).

Для настройки нуля усилителя используется переменный резистор  $R_8$  (установка «НШ»). Калибровка усилителя осуществляется изменением анодного напряжения переменным резистором  $R_1$  (установка «КШ») при закороченном нажатой кнопкой «КШ» датчике. На втором диапазоне прибор выполнен по схеме последовательного магнитоэлектрического омметра, питаемого с делителя напряжения, состоящего из резисторов  $R_6$  и  $R_7$  (рисунок 2б).

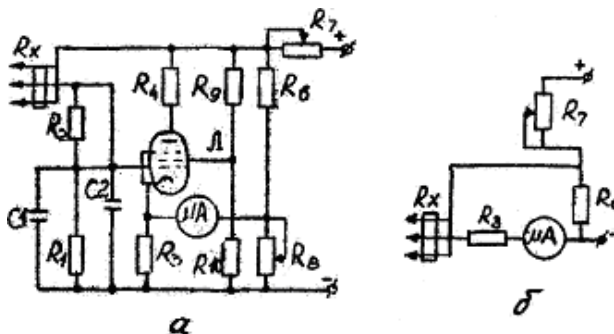


Рисунок 2. Принципиальная схема влагомера:  
а – первый диапазон, б – второй диапазон.

Блок питания прибора состоит из понижающего трансформатора, выпрямителей, выполненных на полупроводниковых диодах Д8М и стабилизатора анодного напряжения.

Проверка работоспособности прибора может осуществляться по образцам древесины или с использованием магазинов сопротивлений. В первом случае измеряется влажность специально подготовленных образцов с различной влажностью. Прибор считается годным, если погрешность не превышает 2 % на первом диапазоне и 3% на втором. Во втором случае к иглам датчика подключаются магазины сопротивлений, с помощью которых устанавливаются значения сопротивлений, соответствующие нескольким оцифрованным делениям шкалы на обоих диапазонах. Погрешность определяется вхождением действительного значения сопротивления в нормированный диапазон (таблица А2 приложения А).

## 5 Методика выполнения работы

5.1 Установить прибор в горизонтальное положение и присоединить заземление к клемме «земля».

5.2 Включить прибор в сеть и прогреть в течение 15 мин.

5.3 Установить температуру помещения и внести ее значение в таблицы 1 и 2 отчета.



5.4 Произвести настройку прибора, для чего на первом диапазоне (левое положение переключателя) регулятором «Установка НШ» добиться совпадения стрелки с отметкой «НШ» шкалы, затем при нажатой кнопке «КШ» регулятором «Установка КШ» добиться совпадения стрелки с отметкой «КШ» шкалы.

5.5 Подключить магазин сопротивлений к средней и одной из крайних игл датчика прибора,

5.6 Варьируя значениями сопротивлений, последовательно устанавливать стрелку прибора на заданные оцифрованные значения шкалы, снимая при показания с магазина сопротивлений и занося их в таблицу 1 отчета.

5.7 Из градуировочной характеристики (таблица А2 приложения А) установить номинальные значения сопротивлений, соответствующие нормируемой по шкале влажности, и допустимые пределы их колебаний и занести их в таблицу 1.

5.8 Определить и занести их в таблицу 1 значения абсолютной погрешности во всех проверяемых точках шкалы в единицах сопротивления.

$$\Delta a = \Omega_d - \Omega_n,$$

где  $\Delta a$  - абсолютная погрешность, ом;  $\Omega_d$  - действительное сопротивление, ом;  $\Omega_n$  - номинальное сопротивление, ом.

Рассчитать значение относительной погрешности

$$\Delta_o = \frac{\Delta_a}{\Omega_n}$$

Результаты занести в таблицу 1 отчета.

5.9 Построить в полулогарифмических координатах действительную и номинальную градуировочные характеристики влагомера, указать предельные значения сопротивлений, соответствующих проверяемым точкам.

5.10 Сделать заключение о годности влагомера.

5.11 Произвести измерения влажности различных пород древесины, результаты занести в таблицу 2 отчета.

Примечание: Значения влажности для показаний прибора, не указанных в таблице А1 приложения А, вычисляются по формуле:

$$W_2 = \frac{N_2 W_1}{N_1}$$

где  $N_2$  - показание прибора;  $N_1$  - ближайшее к  $N_2$  табличное значение показаний прибора;  $W_1$  - табличное значение влажности древесины данной породы, соответствующее показанию прибора;  $W_2$  - влажность древесины данной породы.

Если температура древесины отличается от 20°C. полученное значение  $W_2$  корректируется с учетом поправки, рассчитываемой по формуле:

$$W_3 = W_2 - a (t - 20)$$

где  $W_3$  - скорректированное значение влажности древесины данной породы,  $a$  - температурная поправка на 1 °C, определяемая по таблице 3 приложения А,  $t$  - температура древесины при измерении.

5.12 Сделать заключение по работе.

## 6 Форма отчета.

6.1 Цель работы.

6.2 Оборудование.

6.3 Принципиальная и электрическая схема влагомера.

6.4 Аттестация влагомера (таблица 1)

Таблица 1 - Данные для построения градуировочных характеристик

Темп. помещения °C	Значения влажности в проверяемых	Номинал. электро- сопротивление, ом	Предел. значения электросопротив- ления, ом	Действительное электросо- противление, ом	Погрешность	
					Абсолют., ом	Относит., %

6.5 Номинальная и действительная градуировочные характеристики влагомера в координатах  $\lg R_x - W$ .

6.6 Заключение о возможности использования влагомера.

6.7 Измерение влажности различных пород древесины (таблица 2).

Таблица 2 – Значения влажности

Темп. помещения °С	№ п/п	Наименование пород древесины															
		Сосна				Берёза				Ель				Дуб			
		Влажность, %															
		1		2		1		2		1		2		1		2	

Приложение А

Таблица А1 - Показания влагомера при измерениях влажности древесины различных пород

Показания влагомера	Влажность древесины, %			
	Сосна	Ель	Берёза	Дуб/бук
7	7	7,7	6,6	5,7
8	8	8,8	7,6	6,7
9	9	10,0	8,6	7,6
10	10	11,1	9,6	8,5
11	11	12,3	10,5	9,4
12	12	13,4	11,6	10,2
14	14	15,7	13,5	12,0
16	16	18,0	15,4	13,9
18	18	20,2	17,4	15,7
20	20	22,5	19,4	17,5
22	22	24,7	21,3	19,3
24	24	27,0	23,2	21,0
26	26	29,3	25,2	22,9
28	28	31,8	27,1	24,7
30	30	34,0	29,2	27,0
35	35	39,5	33,0	31,0
40	40	45,2	39,0	36,0
50	50	56,0	49,0	45,0
60	60	69,2	59,0	55,0

Таблица А2 - Номинальная градуировочная характеристика влагомера

Диапазон	Влажность древесины	Номинальное значение эл.сопротивления, ом	Предельное значение эл.сопротивления, ом
П	7	$1,28 \cdot 10^{11}$	$(2,29 \dots 0,74) 10^{11}$
	8	$3,38 \cdot 10^{10}$	$(5,66 \dots 2,06) 10^{10}$
Е	9	$1,03 \cdot 10^{10}$	$(1,63 \dots 0,67) 10^{10}$
	10	$3,67 \cdot 10^9$	$(5,46 \dots 2,54) 10^9$
Р	11	$1,51 \cdot 10^9$	$(2,12 \dots 1,09) 10^9$
	12	$6,89 \cdot 10^8$	$(9,33 \dots 5,14) 10^8$
В	14	$1,72 \cdot 10^8$	$(2,57 \dots 1,17) 10^8$
	16	$5,03 \cdot 10^7$	$(7,17 \dots 3,57) 10^7$
Ы	18	$1,70 \cdot 10^7$	$(2,32 \dots 1,27) 10^7$
	20	$6,65 \cdot 10^6$	$(8,70 \dots 5,13) 10^6$
Й	22	$2,92 \cdot 10^6$	$(3,69 \dots 2,33) 10^6$
В Т О Р О Й	24	$1,43 \cdot 10^6$	$(1,75 \dots 1,18) 10^6$
	26	$7,90 \cdot 10^5$	$(9,32 \dots 6,77) 10^5$
	28	$4,94 \cdot 10^5$	$(5,61 \dots 4,39) 10^5$
	30	$3,49 \cdot 10^5$	$(3,82 \dots 3,21) 10^5$
	35	$2,20 \cdot 10^5$	$(3,49 \dots 1,50) 10^5$
	40	$1,50 \cdot 10^5$	$(2,20 \dots 1,20) 10^5$
	50	$1,00 \cdot 10^5$	$(1,20 \dots 0,85) 10^5$
	60	$7,50 \cdot 10^4$	$(8,85 \dots 6,68) 10^4$

Таблица А3 - Поправки для измерения при температурах, отличных от 20°C

Измеряемая влажность, %	Температурные поправки на 1 °C	
	берёза, дуб, бук	сосна, ель
7	0,07	0,09
8	0,08	0,10
9	0,08	0,10
10	0,09	0,11
11	0,10	0,11
12	0,10	0,12
14	0,10	0,12
16	0,10	0,12
18	0,10	0,13
20	0,11	0,14
22	0,11	0,15
24	0,13	0,17
26	0,15	0,20
28	0,07	0,24
30	0,20	0,30

## Лабораторная работа №2

### «ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАРЫ И СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРОЙ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ»

#### 1 Цель работы

Изучить принцип действия и схему включения термоэлектрических преобразователей. Исследовать характеристики термопары применительно к температуре дня.

#### 2 Оборудование

- 2.1 Муфельная лабораторная электропечь МП-2УМ с автоматическим регулятором температуры.
- 2.2 Милливольтметр образцовый МПП-154
- 2.3 Милливольтметр рабочий.
- 2.4 Образцовая термопара ТХК.
- 2.5 Исследуемая термопара ТХА.
- 2.6 Соединительные провода.

#### 3 Термоэлектрические термометры.

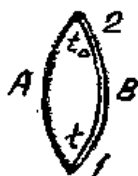
##### 3.1 Общие положения.

Термоэлектрический метод измерения температур основан на зависимости термоэлектродвижущей силы (термо - ЭДС) термоэлектрического преобразователя от температуры.

Термоэлектрические термометры широко применяются для измерения температур до 2500 °С в различных областях техники и в научных исследованиях.

К числу достоинств термоэлектрических термометров следует относить высокую степень точности, возможность централизации контроля температуры путем присоединения нескольких термоэлектрических преобразователей через переключатель к одному измерительному прибору, возможность автоматической записи измеряемой температуры с помощью самопишущего прибора.

##### 3.2 Термоэлектрический преобразователь



Термоэлектрический преобразователь представляет собой цепь, состоящую из двух соединенных между собой соединенных между собой проводников, которые называются термопарой,

Рисунок 1 – Схема проводники, составляющие термопару, называются термоэлектрического термоэлектродами, а места их соединения – спаями. преобразователя

На рисунке 1 представлена термоэлектрическая цепь, состоящая из двух термоэлектродов: А и В со спаями в точках 1,2.

В месте соединения термоэлектродов возникает термо – ЭДС, величина которой зависит от материала проводников и температуры места соединения и не зависит от длины и сечения проводников.

Возникновение термо – ЭДС или термотока в современной физике объясняется различной работой выхода электронов двух соединенных разнородных металлов и диффузионными процессами, ускоряющимися при различной температуре спаев.

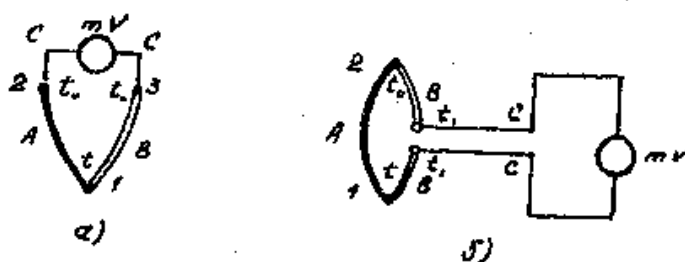
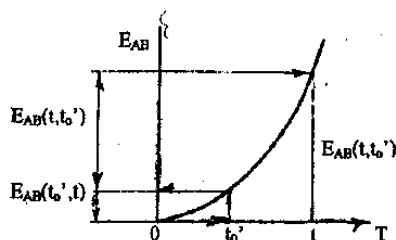


Рисунок 2 – Схемы включения измерительного прибора в цепь термоэлектрического преобразователя



Работой выхода электронов называют минимальную энергию, которую необходимо ему сообщить для того, чтобы он покинул кристаллическую решетку металла. Чем больше различие в работе выхода электронов для двух материалов, соединенных в термопару, тем выше ее чувствительность к температуре.

Математическая формализация соотношения между контактными термо – ЭДС и результирующей

Рисунок 3 – Графические поправки на температуру свободных концов термопары

$$E_{AB}(t, t_0) = e_{AB}(t) - e_{AB}(t_0) \quad (1)$$

Уравнение (1) выражает тот факт, что термо – ЭДС в точке 2 направлена навстречу термо – ЭДС, возникающую в точке 1; поэтому суммарная термо –

ЭДС цепи ( $E_{AB}(tt_0)$ ) из двух проводников равна арифметической разности термо – ЭДС, возникающих в точке соединений.

Согласно закону Вольты, при одинаковой температуре точек спаев проводников цепи  $E_{AB}(tt)=0$ . Если  $t_0=const$ , то  $e_{AB}(t_0)=c=const$  и

$$E_{AB}(tt_0)=const=e_{AB}(t)-c=f(t) \quad (2)$$

При известной зависимости (2), путем измерения термо – ЭДС в контуре термопреобразователя может быть найдена температура в объекте измерения, (в месте погружения рабочего спая), если  $t_0=const$ . Зависимость (2) для конкретно используемых термоэлектродных материалов не может быть получена аналитически с достаточной точностью. Поэтому для различных термопар она устанавливается экспериментально путем градуировки и последующего табулирования или построением графика зависимости термо – ЭДС от температуры. В процессе градуировки температура свободных концов термопары должна поддерживать постоянной и ее значение должно быть равно  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

### 3.3 Включение измерительного прибора в цепь термоэлектрического преобразователя

Для измерения термо – ЭДС термоэлектрического термометра, в его цепь необходимо включить измерительный прибор. Для этого необходимо либо разорвать термоэлектрическую цепь в спае 2 (рисунок 2а), либо разорвать один из термоэлектродов, например, (рисунок 2в), и с помощью проводов С включить измерительный прибор.

Не смотря на отличие схем измерительного прибора, термо – ЭДС, развиваемая термопарами, в обоих случаях будет одинаковой, если будут одинаковыми термоэлектроды А и В, а также температуры рабочих и свободных концов.

### 3.4 Поправка на температуру свободных концов термоэлектрического преобразователя

Если температура  $t_0$  свободных концов отлична от нуля, то показание измерительного прибора при температуре  $t$  рабочих концов будет соответствовать генерируемой в этом случае термо – ЭДС, равной

$$E_{AB}(tt_0)=e_{Ab}(t)-e_{AB}(t_0) \quad (3)$$

Так как градуировочная таблица или график (рисунок 3) зависимости термо – ЭДС от температуры соответствует условию, когда температура свободного конца термопары равна нулю, значит термо – ЭДС  $E_{AB}(tt_0)$  будет отличаться от действительного значения на величину  $E_{AB}(tt_0)$ :

$$E_{AB}(tt_0)=E_{AB}(tt_0)+E_{AB}(t_0t_0) \quad (4)$$

Здесь  $E_{AB}(tt_0)$  - градуировочная термо – ЭДС температуры, соответствующая температуре рабочего конца;  $E_{AB}(tt_0)$  - измеряемая термо – ЭДС при температуре свободного конца  $t_0$ ;  $E_{AB}(t_0t_0)$  градуировочная термо – ЭДС термопары, соответствующая температуре рабочего конца.

Таким образом,  $E_{AB}(t_0t_0)$  представляет собой поправку, определяемую из градуировочных данных используемой термопары и соответствующей термо – ЭДС, отвечающей температуре свободных концов  $t_0$  . Найденное значение  $E_{AB}(t_0t_0)$ , если  $t_0 > t_0 = 0$  и отнимается от него если  $t_0 < t_0 = 0$ .

### 3.5 Классификация, основные свойства и параметры термопар.

Термопары классифицируют по способу контакта с измеряемой средой (погружаемые, поверхностные); условиям эксплуатации (стационарные, переносные, розового, многоцветного или кратковременного применения); герметичности к измеряемой среде (герметичные, негерметичные); инерционности и другим критериям.

Величина термо – ЭДС зависит не только от разности температур холодных концов и горячего спая, но и от материала термоэлектродов применяют те материалы и сплавы, у которых возникает сравнительно большая ЭДС. Материал термоэлектродов должен быть термоэлектрически однороден, т.к. в противном случае могут существенно искажаться результаты измерений. Кроме того, причиной искажения результатов могут быть загрязнения, окалина, наклеп проволоки, длительное воздействие на нее высокой температуры.

В настоящее время широко применяются стандартизованные термопары, условные обозначения, наименование материалов электродов и эксплуатационные параметры, которые представлены в таблице.

По величине инерционности стандартные температуры могут быть:

- большой инерционности (время 10% не доходя от 2,5 до 8 мин.);
- обыкновенной инерционности (1,5 – 2,5 мин.);
- малой инерционности (менее 1,5 мин.).

## 4 Экспериментальная установка.

Цели лабораторной работы реализуют на экспериментальной установке, схема которой представлена на рисунке 4.



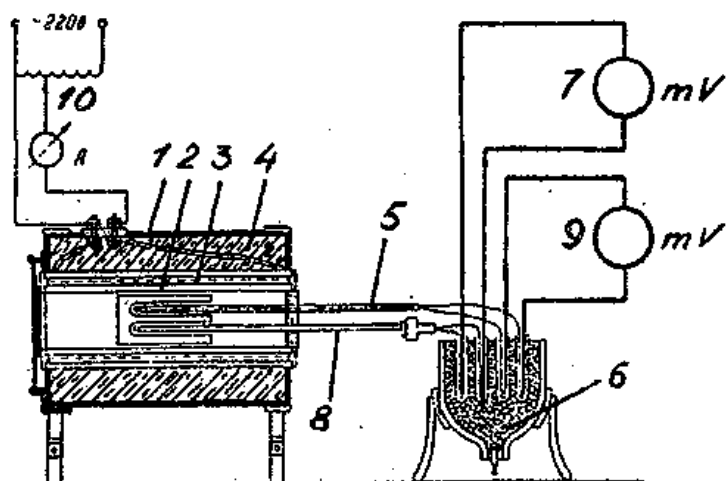


Рисунок 4 – Схема экспериментальной установки

Муфельная лабораторная электропечь обеспечивает нагрев до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Она состоит из металлического корпуса 1, в котором находится керамический муфель 2 с намотанным на него нагревателем 3, пространство между корпусом и муфелем заполнено термоизоляцией 4. В печь введена образцовая термопара 5, холодные концы которой введены в термостат 6, а из него проводами подключены к милливольтметру 7, проградуированному в температуре. Горячий спай исследуемой термопары также устанавливается в печь, а холодные концы подключаются ко второму стрелочному или цифровому милливольтметру 9. Уровень температуры устанавливается реостатом 10 системы автоматического управления нагревом печи, определяется образцовой термопарой и фиксируется на шкале милливольтметра (как правило, по оцифрованным делениям). В момент достижения заданных значений температура со второго милливольтметра, подключенного к поверяемой термопаре, снимаются показания в милливольтмах; их значения в дальнейшем сравниваются с данными из градуировочной таблицы для определения погрешности. При отсутствии в экспериментальной установке термостата, из показаний милливольтметров следует исключать величину поправки, которая равна значению термо – ЭДС, соответствующей реальной температуре свободных концов термопар. Снятие рабочих характеристик термопар проводится не менее, чем в четырех температурных точках, расположенных в интервале температур градуировки.

## 5 Порядок выполнения работы.

5.1 Ознакомиться с целью работы, конструкцией и принципом работы экспериментальной установки (рисунок 4), проверить правильность подключения проводов.

## 5.2 Снять характеристики термопары применительно к температуре дня.

- Внести в таблицу 1 отчета значения температур в исследуемых точках (графа 2), номинальные значения термо – ЭДС исследуемой термопары, соответствующие этим точкам (графа 3), значение поправки на температуру свободных концов (графа 4). Данные взять из таблицы, находящейся на рабочем месте.
- Включить печь установив переключатель пределов нагрева в положение 200 °С (при этом должна загораться сигнальная лампочка).
- При достижении температурой значения 50 °С, отмечаемого по шкале милливольтметра, подключенного к образцовой термопаре, зафиксировав значение ЭДС на поверяемой рабочей термопаре.
- Занести данные в таблицу 1 отчета (графа 5).
- Аналогично проконтролировать все заданные точки, приведенные в таблице 1, при повышении температуры, последовательно переставляя переключатель пределов нагрева на значения, указанные в таблице 2. Данные занести в отчет.
- Вычислить значения абсолютных, относительных и приведенных погрешностей, результаты занести соответственно в графы 6,7,8.
- В выводах по разделу:
  - определить характер погрешностей;
  - определить (предположить) причины их возникновения;
  - дать заключение о возможности использования термопары.

## 7 Форма отчета

### 7.1 Цель работы

### 7.2 Оборудование

### 7.3 Схема экспериментальной установки

### 7.4 Калибровка рабочей термопары

Таблица 1 - Таблица результатов калибровки

№ n/n	Номинальное значение температуры, °С	Номинальное значение термо – ЭДС, мВ	Поправка, мВ	Действительное значение термо – ЭДС, мВ	Погрешности		
					Абсолютные, мВ	Относительные, %	Приведенные, %
1	2	3	4	5	6	7	8
1	50						
2	100						
3	150						
4	200						
5	250						
6	300						

Таблица 2 - Основные параметры термопар

Граница применяемых сплавов	Условное обозначение	Наименование материалов электродов	Диапазон измеряемых температур, С°	Предел измеряемых температур, С°
Тугоплавкие	ТВР 5	Вольфрамрений (5% рения) Вольфрамрений (20% рения)	0 ... 2200	2500
Благородные	ТПР	Платинородий (30% родия) Платинородий (6% родия)	300 ... 1600	1800
	ТПП	Платинородий (10% родия-платина)	0 ... 1300	1600
Неблагородные	ТХА	Хромель алюмель	- 200 ... 1000	1300
	ТХК	Хромель - капел	- 200 ... 600	800
	ТМК	Медь - капель	- 200 ... 100	100

## 7.5 Выводы

# Лабораторная работа №3

## «ИЗМЕРЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ РАЗМЕРОВ С ПОМОЩЬЮ ЭЛЕКТРОИНДУКТИВНОГО ДАТЧИКА БВ4100»

### 1 Цели работы

Изучить принцип действия, конструкцию и схему включения индуктивного преобразователя; Установить область линейности характеристики, диапазоны показаний и измерений, вариацию системы.

### 2 Оборудование

- 2.1 Индуктивная измерительная система БВ4100.
- 2.2 Индикатор многооборотный 1 МИГ.
- 2.3 Стойка вертикального оптиметра.

### 3 Общие положения

#### 3.1 Принцип действия индуктивных преобразователей.

Принцип действия индуктивных преобразователей (датчиков) основан на зависимости индуктивности или взаимной индуктивности обмоток от положения, геометрических размеров и магнитного состояния элементов их магнитной цепи.

Индуктивность взаимных индуктивных обмоток, расположенных на магнитопроводе, определяются формулами:

$$L_i = \frac{W_i^2}{Z_m} \quad (1)$$

$$M_{ji} = \frac{W_i W_j}{Z_m} \quad (2)$$

где  $W_i$  и  $W_j$  – число витков  $i$ -ой и  $j$ -ой обмоток,  $Z_m = \sqrt{R_m^2 + X_m^2}$  – магнитное сопротивление,  $R_m$  и  $X_m$  – соответственно активная и реактивная составляющие магнитного сопротивления.

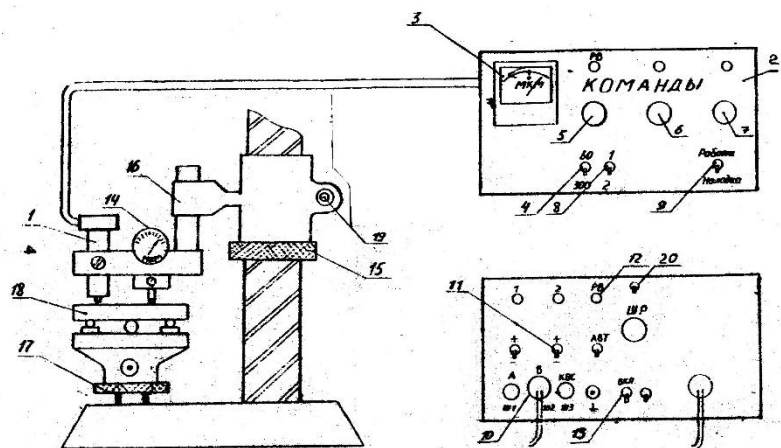


Рисунок 1 – Схема установки

### 3.2 Индуктивная измерительная система БВ-4100

Система активного контроля БВ-4100 (рисунок 1) предназначена для измерения линейных размеров относительным методом. Она состоит из первичного преобразователя (датчика) 1 и электронного блока (отсчетно-командного устройства) 2.

Таблица 1 - Техническая характеристика системы

Цена деления шкалы показывающего прибора	0,001 мм		0,005 мм	
Пределы измерения	0,080 мм		0,400 мм	
Погрешность показаний прибора	на участке 10 делений от нуля	на всей шкале -	на участке 10 делений от нуля	на всей шкале
	0,001мм	0,008 мм	0,005 мм	0,008 мм

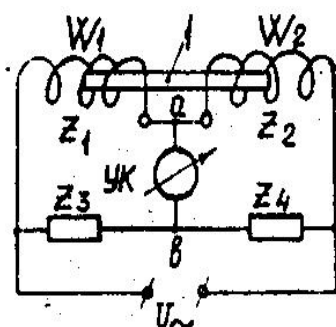


Рисунок 2 – Схема индуктивного дифференциального преобразователя

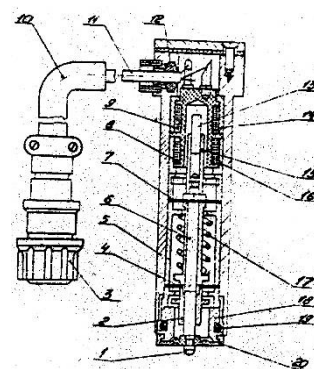


Рисунок 3 – Индуктивный дифференциальный первичный преобразователь системы БВ - 4100

В основу работы системы заложен принцип преобразования контролируемого размера в пропорциональный электрический сигнал. Сигнал, поступающий от преобразователя, формируется в электронном блоке в аналоговый сигнал для показывающего прибора.

### 3.3 Устройство и работа системы БВ-4100.

Первичным преобразователем системы является индуктивный датчик, принципиальная схема и конструкция которого показаны на рисунках 2,3. В датчике применены дифференциальная схема включения катушек индуктивности  $W_1$  и  $W_2$  (поз.8.9) и подвижный ферромагнитный сердечник плунжерного типа (поз.1 и 13).

Электрическая измерительная цепь датчика представляет собой неравновесный измерительный мост, в два плеча которого включены две половины дифференциального преобразователя (рисунок 2). Две идентичные по параметрам катушки с числом витков  $W_1$  и  $W_2$  равны и равны их комплексные сопротивления  $Z_1$  и  $Z_2$ . При включении этих катушек в качестве плеч мостовой схемы, в которой  $Z_3$  и  $Z_4$  - постоянные комплексные сопротивления, напряжение между точками «a» и «b» измерительной диагонали моста будет равно нулю, и ток указателя  $УК$  будет также равен нулю.

Смещение сердечника 1 на величину измеряемого перемещения приведет к разбалансу мостовой измерительной схемы и появлению тока  $I_{УК}$  в измерительной диагонали «ab» моста. Ток указателя определяется выражением:

$$I_{УК} = K_i(Z_1 - Z_2) \quad (3)$$

где  $K_i$  - коэффициент» зависящий от величины комплексных сопротивлений  $Z_3$  и  $Z_4$  двух других плеч мостовой схемы и от внутреннего сопротивления указателя.

Конструкция датчика включает в себя магнитопровод и механизм подвески. Магнитопровод состоит из двух катушек 8 и 9 (рисунок 3), помещенных в экранах 14 и 16, который выполнен из электротехнической стали.

Механизм подвески представляет собой якорь 6 с измерительным наконечником, подвешенный в корпусе 3, на двух дисковых пружинах 4 и 7. Якорь 6 выполнен и виде стержня, к его торцу обоймой 15 крепится сердечник 13. Измерительное усилие создается пружиной 17, Крепятся узлы и

детали внутри корпуса гайками 2 и 18. Со стороны измерительного наконечника корпус уплотнен кольцом 19 и гофрированной мембраной 20 из эластичной резины.

В электронной системе преобразователь присоединяется кабельной вилкой 3 в поливинилхлоридную трубку 10.

При нейтральном положении дисковых пружин 4 и 7 обеспечивается симметричность сердечника 13 относительно обмоток 8 и 9. Смещение сердечника от нейтрального (балансного) положения, вызванное изменением контролируемого параметра, перераспределяет активные площади магнитной системы, чем обеспечивает изменение индуктивности катушек, индуктивного сопротивления и, как следствие, изменение параметров выходного сигнала преобразователя, функционально зависящего от линейного перемещения сердечника.

### 3.4 Устройство отсчетно-командное

Отсчетно-командное устройство предназначено для усиления и преобразования сигналов индуктивного датчика в информацию об изменении размера, контролируемой детали и команды управления рабочим циклом станка.

На передней панели 2 (рисунок 1) устройства размещены:

- показывающий прибор 3 для отсчета текущих значений размера контролируемой детали;
- тумблер 4 для переключения масштабов шкалы показывающего прибора, положение тумблера 60 соответствует подключению точной шкалы с ценой деления 1мкм, положение тумблера 300 соответствует подключению точной шкалы с ценой деления 5мкм;
- рукоятки потенциометров 5, 6, 7 для настройки уровней срабатывания команд управления;
- тумблер 8 в положении "2" обеспечивает измерение с помощью индуктивного преобразователя, включенного в гнездо "В" расположенное с задней панели отсчетно-командного устройства;
- тумблер 9 в положении "Работа" подготавливает к включению связи по командным целям устройства со схемой станка.

В положении «Наладка» указанные связи отключаются, обеспечивая независимое функционирование измерительной системы и станка, в наладочном режиме работы.

## 4 Порядок выполнения работы

4.1 Ознакомиться с принципом действия индуктивных преобразователей и конструкцией системы БВ-4100.

4.2 Определить диапазон измерений и диапазон показаний шкалы отсчетно командного устройства при деления 5мкм.

Нахождение диапазона измерений сводится к определению рабочей части шкалы, погрешности показаний которой соответствуют значению допустимой погрешности, приведенной в технической характеристике системы.

4.3 Определить погрешности на участке - 10 делений от нулевого штриха и на всей шкале. Порядок проведения этой операции следующий:

- а) переключить тумблер 20 в положение «шкала»;
- б) назначить отметки на шкале 3, на которых будут определяться погрешности:
  - на каждой отметке шкалы в пределах - 10 делений от нуля;
  - на отметках -100,-80,-0,+80,+ 100,+300 мкм;
- в) отсчетное устройство БВ-4100 и измерительную головку 14 установить в нулевое положение (за нуль головки 14 принимается ее значение  $X$ , которое соответствует нулевому показанию по шкале прибора 3);
- г) перемещая стол в указанных пределах снять отсчеты по головке 14 и прибору 3 на каждой принятой отметке шкалы.

Отсчет перемещений при проверке на каждом участке производить в обе стороны от нулевой отметки шкалы 3.

Подвод стрелки к нулю осуществляется плавно, так, чтобы исключалась погрешность прямого и обратного хода.

Погрешность отсчетно устройства БВ-4100 на контролируемых точках определяется разностью показания по шкале прибора 3 ( $\overline{X_i}$ ) и величины перемещения стола 18, определяемого по шкале измерительной головки 14 (за величину перемещения стола по шкале измерительной головки 14 принимается абсолютная разность  $|X_0 - X_i|$ , где  $X_0$ - условный нуль,  $X_i$  - текущее значение показания головки, соответствующее перемещению стола на заданную величину)



$$\Delta X = \overline{X_i} - |X_0 - X_i| \quad (4)$$

Результаты измерений записать в таблицу 2.

## 5 Форма отчета

5.1 Цель и задачи работы

5.2 Оборудование

5.3 Назначение и техническая характеристика системы БВ-4100

5.4 Определение погрешности показаний системы с целью установления диапазона измерений и диапазона показаний шкалы отсчетно-командного устройства БВ-4100.

Таблица 2 Таблица результатов эксперимента

Значение контрольных точек для определения погрешностей, мкм	Показания по шкале головки, соответствующее перемещение стола на заданную величину $X_i$	Величина перемещения стола $ X_0 - X_i $ , мкм	Показания по шкале отсчетного устройства $\overline{X_i}$ , мкм	Погрешности по контролируемым точкам $\Delta X = \overline{X_i} -  X_0 - X_i $

Нижний предел измерения -

Верхний предел измерения -

Диапазон измерений -

Диапазон показаний -

## Лабораторная работа №4

### «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ДИСТАНЦИОННЫЕ ПЕРЕДАЧИ. ДИСТАНЦИОННЫЙ ИНДУКЦИОННЫЙ МАНОМЕТР ДИМ - 8»

#### 1 Цель работы

Ознакомиться с принципом действия, структурой и классификацией электрических дистанционных передач, изучить принцип действия и устройство дистанционного индуктивного манометра ДИМ-8. Построить статическую характеристику (функцию преобразования) и определить вариацию ДИМ-8. Обработать результаты измерений и оформить их протоколом.

#### 2 Оборудование

- 2.1 Дистанционный индуктивный манометр ДИМ-8.
- 2.2 Источник питания ПТ-1000ЦС
- 2.3 Микроамперметры.
- 2.4 Грузопоршневой манометр с грузами.

#### 3 Принцип действия электрической дистанционной передачи.

Электрическая дистанционная передача (ЭДП) - это устройство, предназначенное для передачи сигналов на расстояние, с обеспечением однозначного их соответствия на входе и на выходе. Она служит для измерения той или иной физической величины, с передачей информации, на прибор с непосредственным отсчетом показаний. При этом измеряемая величина, обычно, преобразуется с помощью чувствительного элемента в механическое перемещение. В этих случаях ЭДП состоит из датчика и указателя, соединенных между собой электрической линией связи (рисунок1).

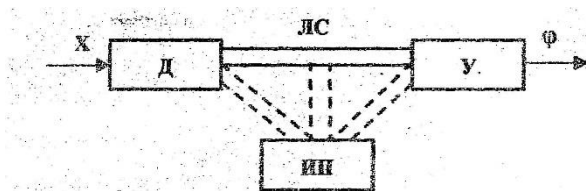


Рисунок 1 - Блок-схема электрической дистанционной передачи:

X - измеряемая величина,  $\phi$  - угол поворота выходной оси, ЛС - линия связи,  
У- указатель, Д - датчик, ИП - источник питания

Датчик преобразует механическое перемещение в электрическую величину. Указатель преобразует электрическую величину в механическое перемещение, которое измеряется с помощью отсчетного устройства, например, шкалы и стрелки.

Линия связи состоит из электропроводов, соединяющих датчик и указатель между собой, а также с источником электрической энергии, который подключается или к датчику, или к указателю, или к соединительным проводам.

Различные типы ЭДП отличаются конструкцией датчика и конструкцией указателя. Кроме перечисленных элементов, ЭДП могут содержать вспомогательные элементы, например, стабилизаторы напряжения и тока, реле, усилители, электродвигатели.

Электрические дистанционные передачи можно классифицировать по следующим признакам:

а) по типу датчиков ЭДП делятся на реостатные (потенциометрические), индуктивные, емкостные, фотоэлектрические и т.д.;

б) по типу указателей ЭДП делятся на гальванометрические, логометрические, компенсационные. Тип указателя определяется методом измерения электрической величины.

в) по роду питания ЭДП делятся на ЭДП постоянного и переменного тока.

Основной статической характеристикой ЭДП является зависимость угла отклонения  $\varphi$  оси стрелки указателя от изменения входной величины  $X$ .

Графическое изображение статической характеристики ЭДП показано на рисунке 2.

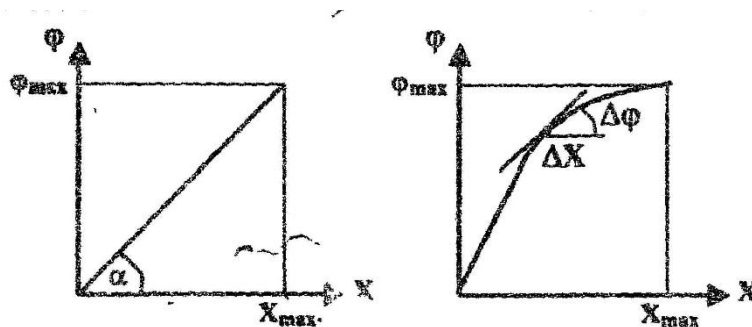


Рисунок 2 - Характеристики ЭДП: а) - линейная, б) нелинейная

Для количественной оценки влияния сигнала на выходной сигнал ЭДП в произвольной точке статической характеристикой служит параметр - чувствительность ( $S$ ). Графически она представляется тангенсом угла наклона

к касательной (рисунок 2б), проведенной к выбранной точке статической характеристики ЭДП; имеющие линейную характеристику, имеют равномерную шкалу и неизменную, чувствительность.

$$S = \lim_{\Delta X \rightarrow 0} \left( \frac{\Delta \varphi}{\Delta X} \right) = \frac{d\varphi}{dX} \quad (2)$$

#### 4 Дистанционный индуктивный манометр ДИМ - 8

##### 4.1 Основные технические данные:

Предел измерения – 0...8 кг/см<sup>2</sup>;

Погрешность показаний в рабочем диапазоне шкалы при нормальной температуре не более 4% от предела измерения;

Питание комплекта (датчик-указатель) - от сети переменного тока напряжением 36В-6%, частотой 400Гц-2%.

##### 4.2 Принцип действия.

Принципиальная схема дистанционного индуктивного манометра (ДИМ) показана на рисунке 3.

Прибор состоит из индукционного манометрического датчика и показывающего прибора (логометра) УИЗ.

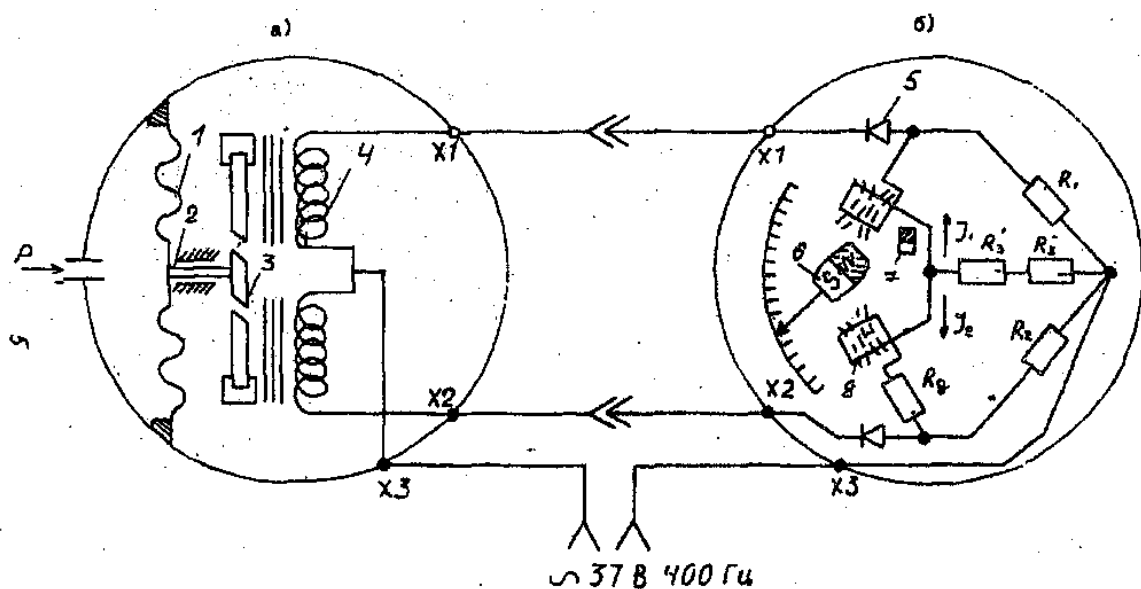


Рисунок 3 Принципиальная схема манометра типа ДИМ:

а) индуктивный датчик: 1 - мембрана, 2 - шток, 3 - якорь, 4 - катушка индуктивности; б) показывающий прибор (логометр):  $R_1$  -  $R_3$  - резисторы, 8 - рамки логометра, 5 - диод, 6 - магниты, 7 - магнит для возврата стрелки в нулевое положение.

В схеме применена логометрическая дистанционная передача. В датчике под действием избыточного давления  $P$  прогибается мембрана, которая перемещает шток 2 вместе с якорем 3. Изменение воздушных зазоров магнитных цепей катушек 4 ( в одной цепи зазор увеличивается, а в другой - уменьшается) вызывает изменение магнитной проницаемости магнитных цепей, а значит и индуктивности катушек. Катушки включены в мостовую схему логометрической дистанционной передачи.

В качестве указателя в ДИМе применяется двухрамочный логометр с вращающимся магнитом и неподвижными рамками 8. Характеристику такого логометра в общем виде можно записать следующим уравнением:

$$\varphi = f\left(\frac{I_1}{I_2}\right). \quad (2)$$

где  $\varphi$  - угол поворота стрелки (магнита),  $I_1/I_2$  отношение токов в рамках логометра.

Применение дифференциальной логометрической схемы, в которой изменение давления  $P$  меняет в рамках оба тока  $I_1$  и  $I_2$ , причем уменьшение одного из них сопряжено с увеличением другого, позволяет увеличить чувствительность логометра и расширить его шкалу. Возврат стрелки на нуль при выключенном питании обеспечивается взаимодействием подвижного магнита с дополнительным неподвижным магнитом.

## 5 Установка для снятия статической характеристики ДИМ

Статической характеристикой ДИМ является зависимость информативного параметра выходного сигнала, каким является отношение токов в рамках логометра ( $I_1/I_2$ ), от информативного параметра его входного сигнала (давление) в статическом режиме.

Определение статической характеристики связано с выполнением градуировки - представление зависимости между значениями выходной и входной величин в виде таблицы или графика.

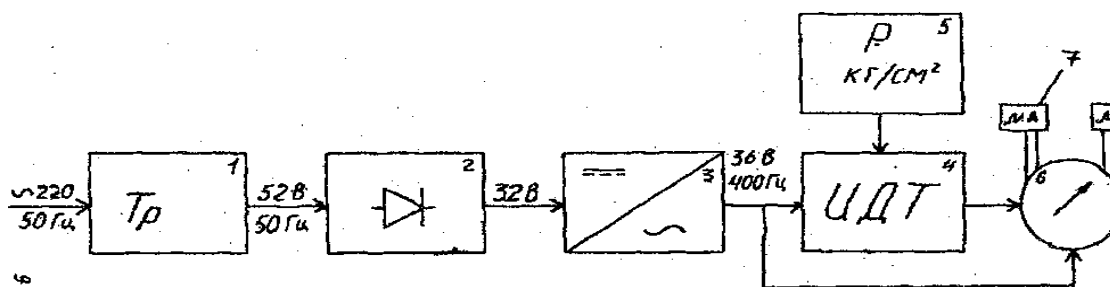


Рисунок 4 - Структурная схема установки, для исследования манометра типа ДИМ: 1- трансформатор, 2 - выпрямитель, 3 - преобразователь, 4 - манометрический датчик, 5 - грузопоршневой манометр, 6- логометр, 7- микроамперметр.

Структурная схема установки для исследования ДИМ (рисунок 4) состоит из блока питания, в состав которого входят трансформатор, выпрямитель, преобразователь грузопоршневого манометра, исследуемого ДИМ, в схему логометра которого включены два микроамперметра.

Индуктивный датчик ИДТ-8 устанавливается в штуцер 7 (рисунок 5) грузопоршневого манометра, а образцовый манометр - в штуцер 7. Давление в образцовом манометре и датчике создается через прессовую часть установки состоящую из цилиндра 9, поршня 10, штока которого выполнен в виде винта, снабженного штурвалом II.

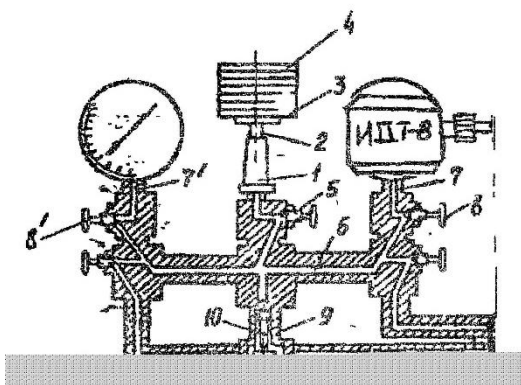


Рисунок 5 - Схема установки датчика

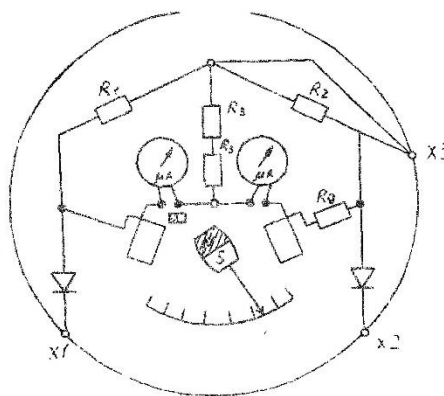


Рисунок 6 - Схема включения микроамперметров

## 6 Методика выполнения работы

6.1 Установить индуктивный датчик на грузовой манометр. Подключить датчик и показывающий прибор к блоку питания. Включить микроамперметры в электрическую цепь логометра согласно схемы (рисунок 6).

6.2 Подготовить грузопоршневой манометр к работе:

- установить образцовый манометр;
- заполнить рабочие полости датчика ИДТ-8 маслом. Заполнение объемов маслом производится ручным насосом и вращением штурвала II против часовой стрелки при закрытом вентиле 5 и открытых вентилях 8;
- наметить контрольные точки для построения статистической характеристики и записать их в протокол (таблица 1).

6.3 Включить вилку источника питания системы в розетку. Снять показания миллиамперметров при нулевом давлении в системе и записать в протокол.

6.4 Вращая штурвал II по часовой стрелке, создать давление в системе, соответствующее первой контрольной точке (груз на колонке грузопоршневого манометра находится в промежуточном, плавающем состоянии). Снять показания с микроамперметров (левого и правого по отношению к показывающему прибору) и записать их в протокол.

6.5 Установить на колонку второй груз и создать в системе давление, соответствующее второй контрольной точке (признак достижения заданного давления - "всплытие" грузов, установленных на колонке). Снять показания с микроамперметров и записать их в протокол.

6.6 Повторить действия по п.6.5 для всех контрольных точек.

6.7 Поочередно снимая по одному грузу с колонки грузопоршневого манометра и снижая давление в системе вращением штурвала против часовой стрелки, снять показания с миллиамперметров для тех же контрольных точек. О получении заданного давления свидетельствует "плавающее" состояние грузов, оставшихся в колонке. Данные измерения записать в протокол.

6.8 По результатам измерения построить график зависимости давления от соотношения токов  $I_1/I_2$  для "прямого" и "обратного" хода.

6.9 Определить вариацию показаний для каждой контрольной точки.

Вариацию показаний исследуемого прибора в каждой поверяемой точке шкалы определяют после снятия статической характеристики по формуле:

$$v = |a_n - a_o| \quad (3)$$

где  $v$  — вариация абсолютная;  $a_n$  и  $a_o$  — значения токов, соответствующие одной и той же величине давления на характеристиках "прямого" и "обратного" хода.

6.10 Определить приведенную вариацию по формуле:

$$v_{np} = \frac{v}{v_{max}} 100\% \quad (4)$$

где  $v_{np}$  — приведенная вариация,  $v_{max}$  — вариация на предельном значении измеряемой величины по шкале прибора измерительной системы.

## **7 Форма отчета**

7.1 Цель работы.

7.2 Оборудование.

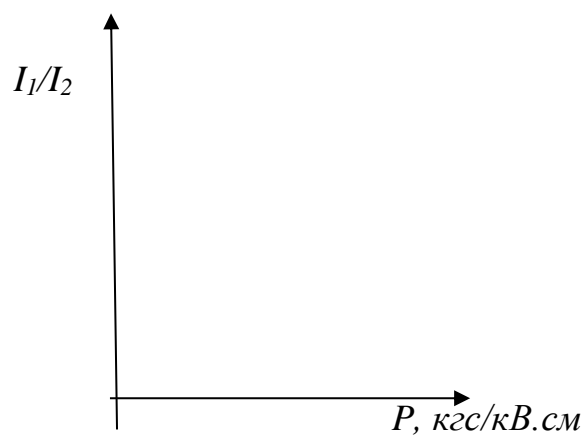
7.3 Принципиальная схема ДИМ-8.

7.4 Структурная схема установки для исследования ДИМ-8.

Таблица 1 - Результаты исследования

Показания образцового маннометром, кгс/ см <sup>2</sup>	Показания микроамперметра, мА						Вариация абсол.  <i>в</i>	Вариация привед., <i>в<sub>пр</sub></i>
	Прямой ход			Обратный ход				
	<i>I<sub>1</sub></i>	<i>I<sub>2</sub></i>	<i>I<sub>1</sub>/I<sub>2</sub></i>	<i>I<sub>1</sub></i>	<i>I<sub>2</sub></i>	<i>I<sub>1</sub>/I<sub>2</sub></i>		
0								
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								

### 7.5 Функции преобразования ДИМ-8.



### 7.6 Оценка чувствительности ДИМ-8.



## **Лабораторная работа № 5**

### **«ИЗМЕРЕНИЕ ВРЕМЕНИ»**

#### **1 Цели работы**

Ознакомиться с принципом работы метронома, секундомера, наручных механических и электронных часов; научиться измерять промежутки времени и представлять результат

#### **2 Оборудование:**

- 2.1 Метроном,
- 2.2 Секундомер,
- 2.3 Наручные механические часы (с секундной стрелкой),
- 2.4 Наручные электронные часы (с секундной стрелкой или секундной индикацией),
- 2.5 Стеклопластиковая трубка длиной 25—30 см и диаметром 7—8 мм,
- 2.6 Пластилин

#### **3 Теоретические сведения**

##### **3.1 Конструкция метронома.**

Метроном применяется для соблюдения точного темпа при исполнении музыкальных произведений, а также в лабораторных опытах. Метроном состоит из корпуса пирамидальной формы со шкалой, пружинного часового механизма и маятника с подвижным грузом. Колебания маятника метронома сопровождаются равномерным постукиванием. Число колебаний маятника в единицу времени зависит от местоположения груза. Чтобы добиться необходимого количества ударов в минуту, груз фиксируют напротив соответствующей цифры на шкале.



Рисунок 1 - Конструкция метронома

### 3.2 Принцип работы часов

Хотя существует множество моделей часов, принцип работы них один и тот же. В каждом механизме есть устройство,двигающее стрелки – двигатель. Есть устройство, регулирующее скорость движения – регулятор. Есть устройство, которое считывает равномерные колебания некоего объекта – счетчик, и, наконец, есть индикатор – внешнее отображение этих колебаний (циферблат или электронный дисплей). Так, в настенных часах регулятором будет маятник, а в атомных – колебания атома водорода. Наручные часы подразделяются на механические и кварцевые.

### 3.3 Механические часы

В механических часах (рисунок 2) в качестве источника питания используется заведенная пружина. Раскручиваясь, она приводит в движение маятник, который через определенные промежутки времени оказывает воздействие на часовой механизм, заставляющий двигаться стрелки на циферблате. Если пружина полностью раскрутится, часы остановятся – для продолжения хода пружину необходимо снова закрутить. Проблема механических часов в том, что даже в самых совершенных моделях пружина все равно раскручивается неравномерно, сбивая колебания маятника – именно поэтому погрешность хода механических часов весьма велика, от  $\pm 7$  до  $\pm 20$  секунд в сутки.

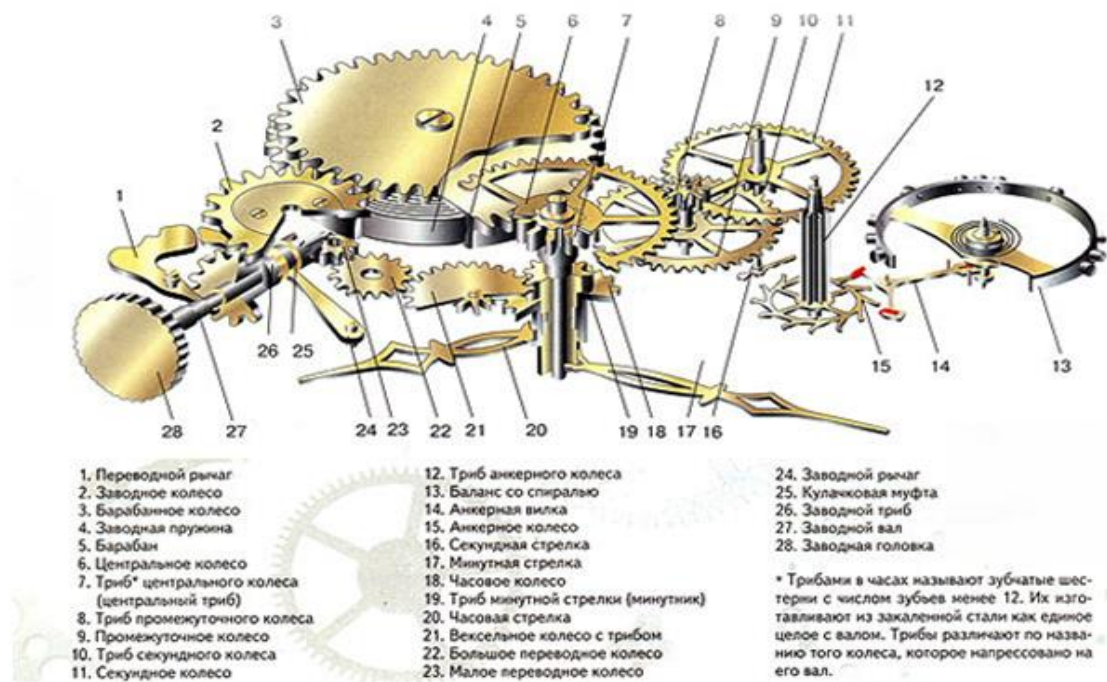


Рисунок 2 – Кинематическая схема механических часов

В балансовых наручных часах двигатель заставляет вращаться колеса и стрелки, а регулятор определяет скорость их вращения. Источник энергии представляет собой металлическую ленту, туго свернутую внутри специального барабана с зубцами на наружной стороне. Этот барабан одет на вал со свободным вращением. Внешний конец такой пружины закреплен на внутренней стенке барабана, а внутренний – за крючок на валу.

Вращение вала при неподвижном барабане закручивает пружину; последующая фиксация вала приведет к раскручиванию пружины и, соответственно, барабана. Вращение передается на центральный триб, а затем через минутную стрелку, вексельное колесо и триб вексельного колеса – на часовое колесо, на втулке которого закреплена часовая стрелка. Количество зубцов на колесе подобрано так, что минутная стрелка вращается в двенадцать раз быстрее часовой.

Для регулировки вращения пружины используется специальное устройство, задающее промежутки времени, через которые барабан поворачивается на определенный угол – регулятор. Это довольно сложная система баланс-спираль. Баланс – это круглый маховик с определенным моментом инерции, несколькими спицами закрепленный на оси. Спираль представляет собой полосу пружинной стали, свернутую в форме архимедовой спирали. Внешний конец этой спирали крепится к одной из неподвижных частей часового механизма, а внутренний закреплен на оси баланса. Таким образом, при повороте баланса в спирали возникает напряжение, которое растет пропорционально углу поворота. Если отпустить баланс, он, стремясь вернуться в положение равновесия, повернется обратно. Однако под действием упругой спирали баланс повернется дальше точки равновесия на угол, почти равный углу отклонения, тем самым вновь напрягая пружину. Без трения и прочих внешних факторов, система баланс-спираль колебалась бы бесконечно с неизменной частотой. Время полного колебания зависит не от угла отклонения, а от значения упругости спирали и веса баланса, поэтому данная система может быть использована для стабилизации вращения колесной передачи. Однако в реальности баланс со временем остановится, поэтому для поддержания постоянной частоты колебаний балансу необходимо периодически пополнять кинетическую энергию. Также само по себе движение баланса бесполезно – его необходимо использовать для равномерного вращения шестеренок и, как следствие, стрелок. Для этого используется анкерный спуск – он превращает колебания баланса в стабильное вращение системы шестеренок, а также передает балансу необходимую энергию от двигателя. При помощи анкерного спуска одно колебание системы баланс-спираль поворачивает колеса на строго выверенные углы.

### 3.4 Секундомер как разновидность механических часов

Механизм механического секундомера имеет пружинный двигатель, анкерный ход и колебательную систему "баланс - спираль" с периодом колебания в доли секунды. Для управления стрелками механизм секундомера снабжен специальным устройством суммирующего действия. Пуск, останов стрелок осуществляется нажатием на заводную головку, возврат на нуль - нажатием на кнопку.

### 3.5 Кварцевые часы



Отличительной чертой кварцевых часов (рисунок 3) по сравнению с механическими является простота конструкции. Колебательную систему механизма у них заменяет кристалл кварца. Генератор на его основе подает электромагнитные импульсы на двигатель, который и приводит в действие колесный механизм часов, приводящий в движение стрелки. Источником питания в кварцевых часах служит обычная или солнечная батарейка. Поскольку частота колебаний генератора неизменна, кварцевые часы отличаются повышенной точностью хода по сравнению с механическими. Погрешность составляет от  $\pm 5$  секунд в год до  $\pm 20$  секунд в месяц.

Главными элементами кварцевых часов являются шаговый электродвигатель и электронный блок, который ежесекундно посылает двигателю импульсы; источником энергии для их работы является батарейка. Ключевое отличие от механических часов – высокую точность хода – обеспечивает кристалл кварца. Этот кристалл обладает пьезоэлектрическим эффектом: при сжатии появляется электрическое поле, под воздействием которого кварц вновь сжимается. Каждый кристалл имеет резонансную частоту, которая – благодаря строго определенным размерам – равна 32768 герц. В электронный блок кварцевых часов входит генератор электрических колебаний, стабилизирующихся на этой резонансной частоте кварцевым кристаллом. В результате эти равномерные стабильные колебания преобразуются в движение стрелок.

Генератор вырабатывает 32768 колебаний в секунду – это почти в 10 000 раз превышает число колебаний системы баланс-спираль в механических часах. Поэтому другая часть конструкции превращает эти колебания в импульсы частотой 1 герц, которые подаются на обмотку электродвигателя.

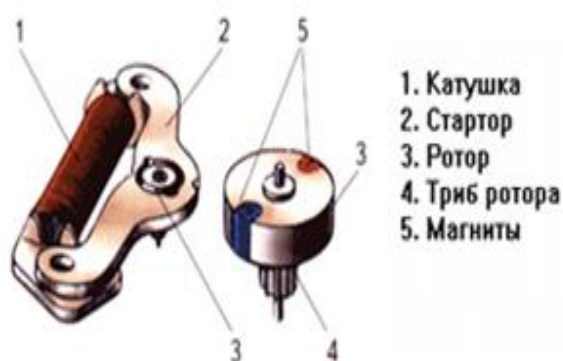


Рисунок 4 – Двигатель кварцевых часов

Двигатель (рисунок 4) состоит из статора, неподвижно закрепленной на нем катушки с обмоткой и постоянного магнита – ротора. Электроимпульс, проходя через катушку, создаёт магнитное поле, которое поворачивает ротор на пол-оборота, а тот через систему шестеренок вращает стрелки. Кварцевые часы могут отображать время с помощью цифрового дисплея – в этом случае они называются электронными часами.

Отличие в том, что импульсы электрогенератора преобразуются не в энергию для двигателя, а в сигналы, которые переводятся на дисплей в привычном виде минут и секунд. Существуют и смешанные модели, в которых реализованы одновременно дисплей и циферблат.

#### 4 Подготовка и проведение эксперимента

4.1 Настроить метроном на 120 ударов в минуту.

4.2 Определить цену деления шкал часов и секундомера. Результаты измерений занести в таблицу 1 отчёта. (Цена деления метронома, настроенного на 120 ударов в минуту, составляет  $120 \times 0,5 \text{ с} = 60 \text{ с}$ ).

4.3 Закрывать один конец стеклянной трубки пластилином. Наполнить ее водой так, чтобы в трубке осталось немного воздуха. Закрывать пластилином

второй конец трубки и положить ее на стол. Слегка постучав по трубке, добиться, чтобы пузырек воздуха отделился от пластилина. Затем поднять один конец трубки и положить его на тонкую тетрадь. Пузырек начнет медленно перемещаться вверх до тех пор, пока не достигнет противоположного конца трубки. Чтобы вернуть пузырек в исходное положение, поднять конец трубки, лежащий на столе.

4.4 Измерить время движения пузырька с помощью:

а) метронома; б) механических часов; в) секундомера; г) электронных часов. Каждый опыт повторите трижды. Результаты всех измерений занесите в таблицу 1.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

Средство измерения	Цена деления	Время $t$ , с			
		$t_1$	$t_2$	$t_3$	$t_{cp}$
Часы					
Метроном					
Секундомер					

4.5 Рассчитать среднее значение  $t_{cp}$  времени и стандартное отклонение  $S$  для каждого средства

$$t_{cp} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad S_t = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (t_{cp} - t_i)^2}{n(n-1)}}$$

4.6 Представьте результаты измерений в виде доверительного интервала с заданной преподавателем вероятностью

$$t = t_{cp} \pm t_p S_t$$

## **5 Форма отчёта и анализ результатов работы**

5.1 Цель работы

5.2 Применяемое оборудование

5.3 Таблица результатов

5.4 Расчёт  $t_{cp}$  и  $S$

5.5 Анализ результатов эксперимента и выводы по работе:

Сравнить полученные результаты и сделать выводы о том

- а) каким из предложенных приборов и в каких случаях целесообразнее пользоваться;
- б) какие условия проведения эксперимента приводили к погрешностям;
- в) как можно усовершенствовать технику проведения эксперимента.

## **Лабораторная работа № 6**

### **«МЕТОДЫ РАСЧЁТА ПОГРЕШНОСТЕЙ ПРИ ИЗМЕРЕНИЯХ ЛИНЕЙНЫХ ВЕЛИЧИН»**

#### **1 Цель работы**

Ознакомиться с причинами погрешностей при измерении физических величин и методами обработки результатов измерений.

#### **2 Оборудование**

- 2.1 Штангенциркуль;
- 2.2 Линейка;
- 2.3 Образец.

#### **3 Общие положения**

Измерить какую-либо величину - значит сравнить ее с однородной величиной, принятой за единицу измерения. Различают прямые и косвенные измерения. Прямыми называются измерения, цель которых состоит в определении измеряемой величины непосредственно или при помощи измерительного прибора, проградуированного в соответствующих единицах. Косвенными называются измерения, при которых искомая величина определяется по результатам прямых измерений других величин, связанных с этой величиной определенной функциональной зависимостью.

Измерения любых величин не могут быть абсолютно точными, поэтому их результаты дают приближенное значение измеряемой величины. Погрешности, возникающие при измерениях, делятся на систематические, случайные и промахи (таблица 1).

В зависимости от того, с какой точностью требуется произвести измерения, используют технические или лабораторные методы.

При использовании технических методов производится одно измерение. В этом случае точность измерения определяется погрешностью прибора, а результатом измерения служит запись в виде:  $x = x_o \pm \Delta x$ , где:  $x_o$  - отсчет по прибору;  $\Delta x$  - абсолютная погрешность измерения. Абсолютная погрешность технического измерения равна абсолютной погрешности прибора, которая определяется исходя из класса точности прибора. Класс точности прибора характеризует приведенная погрешность прибора  $x_{пр}$ , которая равна отношению абсолютной погрешности к предельному значению измеряемой величины (т.е. к ее максимальному значению по шкале прибора), выраженному в процентах:



$$\varepsilon_{np} = \frac{\Delta x}{x_{np}} 100\% \quad (1)$$

Таблица 1 – Классификация, причины появления и способы устранения погрешностей

Вид погрешностей	Возможные источники	Способы устранения
Систематические погрешности, которые остаются постоянными.	Неточность метода измерения	Переход к более совершенному методу измерения
	Недостаточно полный учет факторов, влияющих на измеряемую величину	
	Измерительная аппаратура	Регулировка прибора
	Несовершенство теории опыта	Введение поправок к его шкале
Случайные погрешности, появление которых невозможно предупредить.	Ограниченность чувствительности прибора	Повысить качество разработки теории опыта
	Субъективные возможности экспериментатора (слух, зрение, опыт)	
	Изменение условий измерения	
Промехи - грубые ошибки, искажающие результат измерения.	Нарушение нормальной работы измерительной аппаратуры	Увеличить число измерений, при разработке результатов использовать статистические закономерности
	Неправильные действия экспериментатора	

Приведенная погрешность прибора является по существу относительной погрешностью. По приведенной погрешности приборы делятся на:

технические - класса точности 1; 1,5; 2,5; 4;

лабораторные - класса точности 0,1; 0,2; 0,5.

Класс точности прибора указан на шкале прибора

Абсолютная погрешность, которую дает прибор, определяется из выражения (1):

$$\Delta x = \frac{\varepsilon_{np}}{100\%} x_{np} \quad (2)$$

где  $\varepsilon_{np}$  - класс точности прибора;  $x_{np}$  - предельное значение измеряемой величины по шкале прибора.

Если на шкале класс точности не обозначен, то абсолютная погрешность принимается равной половине цены деления наименьшего значения шкалы прибора.

Погрешности приборов не зависят от числа измерений, они зависят от конструкции прибора. Для более точных измерений либо подбирают приборы более высокого класса точности, либо используют лабораторные методы измерений.

При лабораторных методах измерение производят  $n$  раз и получают  $n$  приближенных значений:  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ .

Среднее арифметическое найденных значений принимается за наиболее достоверное значение измеряемой величины

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

Абсолютная разность между средним значением и значением отдельного измерения называется абсолютной погрешностью этого измерения:

$$\Delta x_i = |\bar{x} - x_i| \quad (4)$$

Средней абсолютной погрешностью  $n$  измерений называется среднее значение абсолютных погрешностей:

$$\Delta \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta x_i \quad (5)$$

Истинное значение измеряемой величины будет:

$$x = \bar{x} \pm \Delta \bar{x} \quad (6)$$

Знаки «+» и «-» в выражении (6) означают, что погрешность может быть допущена как в сторону увеличения от действительного значения измеряемой величины, так и в сторону уменьшения.

Относительная погрешность представляет собой отношение средней абсолютной погрешности  $\Delta \bar{x}$  к среднему значению измеряемой величины  $\bar{x}$  и выражается обычно в процентах:

$$\varepsilon = \frac{\Delta \bar{x}}{\bar{x}} 100\% \quad (7)$$

Косвенным называется определение значения величины  $a$  через непосредственно измеренные величины  $x, y, z, \dots$ , функционально связанные с ней.

Результат косвенного измерения величины  $a$  зависит от точности измерений величин  $x, y, z, \dots$  и от вида функциональной связи.

В таблице 2 приведены значения абсолютной и относительной погрешностей для различного вида функциональных связей величины  $a$ , измеренной косвенно, с величинами  $x, y, z, \dots$ , которые измерены непосредственно.

При многократных измерениях физической величины  $N$  в одинаковых условиях возникают случайные погрешности - ошибки, которые вызываются большим числом неподдающихся учету случайных причин. Случайные

погрешности подчиняются законам теории вероятностей. В основе теории ошибок, применяющей методы теории вероятностей лежат два положения:

- случайные погрешности одинаковой величины, но разного знака равновероятны;
- чем больше абсолютная величина погрешности, тем она менее вероятна.

Таблица 2 – Значения погрешностей для различных функциональных связей

Вид функции	Абсолютная погрешность	Относительная погрешность
$a = x + y + z$	$\Delta a = \Delta x + \Delta y + \Delta z$	$\varepsilon = (\Delta x + \Delta y + \Delta z) / (x + y + z)$
$a = x - y$	$\Delta a = \Delta x + \Delta y$	$\varepsilon = (\Delta x/x) / (\Delta y/y)$
$a = xy$	$\Delta a = x\Delta y + y\Delta x$	$\varepsilon = (\Delta x/x) + (\Delta y/y)$
$a = xyz$	$\Delta a = xy\Delta z + xz\Delta y + yz\Delta x$	$\varepsilon = (\Delta x/x) + (\Delta y/y) + (\Delta z/z)$
$a = x^n$	$\Delta a = nx^{n-1}\Delta x$	$\varepsilon = n\Delta x/x$
$a = x^{1/n}$	$\Delta a = (1/n)x^{(1/n)-1}\Delta x$	$\varepsilon = \Delta x/(nx)$
$a = x/y$	$\Delta a = (x\Delta y + y\Delta x)/y^2$	$\varepsilon = (\Delta x/x) + (\Delta y/y)$
$a = \sin x$	$\Delta a = \Delta x \cos x$	$\varepsilon = \Delta x \operatorname{ctg} x$
$a = \cos x$	$\Delta a = \Delta x \sin x$	$\varepsilon = \Delta x \operatorname{tg} x$
$a = \operatorname{tg} x$	$\Delta a = \Delta x (\cos^2 x)$	$\varepsilon = 2\Delta x / \sin 2x$
$a = \operatorname{ctg} x$	$\Delta a = \Delta x (\sin^2 x)$	$\varepsilon = 2\Delta x / \sin 2x$

Из этих положений следует, что истинное значение измеряемой величины при многократных измерениях приблизительно равно среднеарифметическому значению из этого числа измерений

$$x = \bar{x} \quad (8)$$

При наличии случайных погрешностей появление в процессе измерения любого значения  $x_i$  является случайным событием. Существует некоторая вероятность того, что это значение  $x$ , появится в интервале  $[x - \Delta x; x + \Delta x]$

Пусть  $y$  - случайная ошибка измерения величины  $x$ :

$$y = \Delta x = \bar{x} - x_i \quad (9)$$

Эта ошибка является непрерывной случайной величиной, которая подчиняется закону нормального распределения Гаусса:

$$\varphi(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{y^2}{2\sigma^2}} \quad (10)$$

где  $\sigma^2$  - постоянная величина, называемая дисперсией распределения.

Дисперсия характеризует разброс случайных величин  $y$ , так как является параметром кривой распределения (рисунок 1). При большой дисперсии кривая расплывается, максимум становится выраженным менее ярко, более вероятны большие отклонения.

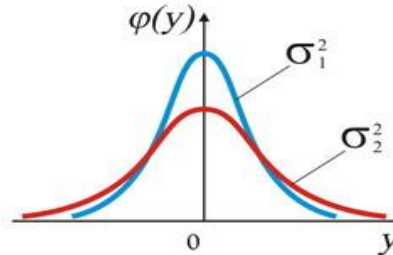


Рисунок 1 - Иллюстрация закона нормального распределения

При большом числе измерений  $n \rightarrow \infty$  дисперсия  $\sigma$  оказывается приблизительно равной среднеквадратичной погрешности отдельного измерения:

$$\sigma \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n}} \quad (10)$$

Таким образом, чем меньше значение  $\sigma$ , тем точнее проведено измерение. При обработке результатов измерений в качестве предельной абсолютной погрешности отдельного измерения обычно берут величину  $3\sigma$ . Измерение считается промахом, если его абсолютная погрешность больше  $3\sigma$ .

Доверительным интервалом называют интервал  $[\bar{x} - 3\sigma; \bar{x} + 3\sigma]$ , в котором содержится истинное значение  $x$  измеряемой величины.

Обычно в лабораторных работах при небольшом числе измерений выбирается достаточная надежность 0,95.

За стандартный интервал принимается  $[\pm S_x]$ , где

$$S_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x} - x_i)^2}{n(n-1)}} \quad (11)$$

Существует специальная таблица коэффициентов Стьюдента, с помощью которых можно установить, во сколько раз следует увеличить стандартный интервал  $[\pm S_x]$  для того, чтобы при определенном числе измерений получить заданную надежность  $\alpha$  (таблица 3).

Для оценки погрешности результата многократных прямых измерений существует несколько способов. Наиболее распространенным является способ, основанный на методике Стьюдента, который включает следующие действия:

- Производят  $n$  измерений и записывают их результаты в таблицу.
- Вычисляют среднее значение измеряемой величины по формуле (3)

- Определяют среднюю квадратичную ошибку серии измерений по формуле (11):
- По таблице 3 в зависимости от заданной надежности  $\alpha$  и числа измерений  $n$  находят коэффициент Стьюдента  $t(\alpha, n)$ .
- Абсолютную погрешность результата серии измерений, т.е. полуширину доверительного интервала, определяют по формуле:

$$\Delta x = t(\alpha, n) S_x \quad (12)$$

- Окончательный результат записывают в виде:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad (13)$$

- Для оценки точности измерений вычисляют относительную погрешность:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{x} 100\% \quad (14)$$

Таблица 3 - Коэффициент Стьюдента  $t(\alpha, n)$

Количество измерений $n$	Надежность $\alpha$								
	0.5	0.6	0.7	0,8	0.9	0.95	0.98	0.99	0.999
2	1.00	1.38	2.0	3.1	6.3	12.7	31.8	63.7	636.6
3	0.82	1.06	1.3	1.9	2.9	4.3	7.0	9.9	31.6
4	0.77	0.98	1.3	1.6	2.4	3.2	4.5	5.8	12.9
5	0.74	0.94	1.2	1.5	2.1	2.8	3.7	4.6	8.6
6	0.73	0.92	1.2	1.5	2.0	2.6	3.4	4.0	6.9
7	0.72	0.90	1.1	1.4	1.9	2.4	3.1	3.7	6.0
8	0.71	0.90	1.1	1.4	1.9	2.4	3.0	3.5	5.4
9	0.71	0.90	1.1	1.4	1.9	2.3	2.9	3.4	5.0
10	0.70	0.988	1.1	1.4	1.8	2.3	2.8	3.3	4.8
11	0.70	0.88	1.1	1.4	1.8	2.2	2.8	3.2	4.6
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
$\infty$	0.67	0.84	1.1	1.3	1.6	2.1	2.3	2.16	3.3

Величина, обратная относительной погрешности называется точностью

$$\delta = \frac{1}{\varepsilon} \quad (15)$$

## ОБРАБОТКА РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

При вычислениях с приближенными числами следует руководствоваться следующими правилами:

- а) Необходимо различать записи чисел.

Например, числа 12,3; 12,30; 12,300 отличаются друг от друга тем, что в записи верны цифры целых и десятых долей; во второй - верны также сотые доли; в третьей - верны и тысячные доли.

б) При приближенных вычислениях полученные числа округляют до определенного числа значащих цифр.

Обычно среднее арифметическое округляется до ближайшего возможного отсчета по шкале прибора. Например, при многократном измерении длины штангенциркулем получим среднее значение 3,37 мм, но ближайший отсчет, какой можно сделать по штангенциркулю, будет 3,4 мм. Следовательно, вместо полученного числа 3,37 мм, надо записать среднее значение 3,4 мм.

в) Численное значение средней абсолютной погрешности округляют до тех же разрядов, что и среднее значение измеряемой величины.

Так, если среднее значение измеренной штангенциркулем длины взяли 3,4 мм, а полученная при расчетах абсолютная погрешность составляет 0,182 мм, то это число округляется до 0,2 мм, т.е. до разряда, как и у числа 3,4 мм.

г) Если расчетные формулы содержат физические константы, табличные данные, то эти значения при расчете погрешностей берутся с такой точностью, чтобы число значащих цифр в них было на единицу больше, чем число значащих цифр в значениях измеренных величин. За абсолютную погрешность постоянных величин принимают половину единицы наименьшего разряда числа, необходимого при расчетах.

Например, если среднее арифметическое значение длины составляет 3,4 мм, то табличное значение числа  $\pi$  следует взять 3,14. При этом абсолютная погрешность для числа  $\pi$  будет  $\Delta \pi = 0,005$ .

д) При косвенных измерениях следует учитывать, что конечная точность измерения будет определяться самым неточным измерением какой-либо величины состоящей в функциональной связи с измеряемой величиной. Поэтому точность измерений всех величин должна быть более или менее одного разряда.

Нецелесообразно, например, при калориметрических измерениях определять массу с точностью до 0,001, если температура измеряется с точностью до 0,1.

## **Лабораторная работа №7**

### **«ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ»**

**1 Цель работы:** научиться пользоваться различными методами и средствами для измерения физических характеристик объектов и представлять результаты измерений

**2 Оборудование:** весы электронные, градуированная мензурка с водой, различные объекты измерения – детали сложной конфигурации из различных материалов.

#### **3 Теоретические сведения**

На практике при проектировании, изготовлении и эксплуатации часто бывает необходимо знание основных характеристик различных объектов. Часто такими характеристиками являются масса, объём, плотность.

Существует много методов и средств непосредственного измерения массы. Выбор того или другого определяется требуемой точностью и размерами объектов. Для измерения малых масс целесообразно использовать электронные весы, которые характеризуются высокой точностью, небольшими размерами и возможностью использования в любых условиях.

Если объект имеет правильную геометрическую форму (цилиндр, куб, призма и т. д.), измерить его геометрические размеры не составляет труда, а значит легко вычислить и объём. Если же конфигурация объекта оригинальна, задача определения объёма усложняется. Эта задача может быть решена с помощью мензурки с водой. Этот способ основан на том, что при погружении тела в жидкость объём жидкости с погруженным в нее телом увеличивается на величину объема тела. Следовательно, необходимо только определить разность объёмов после и до погружения измеряемого объекта.

Плотность можно определить только по известной физической зависимости как соотношение массы и объёма.

Таким образом, для определения массы ( $m$ ) необходимо воспользоваться весами, объём ( $V$ ) определяется как количество вытесненной из стакана воды после погружения в него объекта, а для определения плотности существует расчётная формула (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Результаты измерений, как случайного процесса, обычно выражаются в виде интервала при заданной доверительной вероятности.

#### **4 Порядок выполнения работы:**

4.1 Установить весы на твёрдую плоскую поверхность, нажать клавишу ON/TARE/OFF: на экране появится «8888», а через 4 секунды «0.0». Весы готовы к работе.

4.2 Поместить объект на измерительную платформу. На экране высветится вес объекта. Удалить объект с платформы, а результат внести в таблицу 1 отчёта; эксперимент повторить 5 раз.

4.3 Вычислить среднее значение и стандартное отклонение массы

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

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} \quad (3)$$

4.4 Представить результат измерения в виде доверительного интервала

$$\bar{m} - t_p \frac{S_m}{\sqrt{n}} \leq m \leq \bar{m} + t_p \frac{S_m}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

где  $t_p$  - коэффициент Стьюдента при заданной доверительной вероятности.

4.5 В мензурку налить воду в количестве достаточном для того, чтобы полностью погрузить в нее измеряемое тело, измерить объем, результат внести в таблицу 2 отчёта;

4.6 В воду полностью погрузить измеряемое тело, измерить объем, результат внести в таблицу 2 отчёта;

**Примечание:** К измеряемому телу лучше привязать нитку, чтобы с ее помощью аккуратно опустить объект в воду, а затем и извлечь из мензурки. Если тело плавает, нужно полностью погрузить его в воду при помощи карандаша, спицы или проволоки, иначе будет измерен объем только той части объекта, которая находится под водой.

4.7 Вычислить разницу второго и первого объемов, результат внести в таблицу 2 отчёта; эксперимент повторить 5 раз, затем определить среднее значение  $\bar{\Delta V}$  и стандартное отклонение  $S_{\Delta V}$ ;

$$\bar{\Delta V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_i \quad (5)$$

$$S_{\Delta V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta V_i - \bar{\Delta V})^2}{n-1}} \quad (6)$$

4.8 Представить результат измерения в виде доверительного интервала

$$\bar{\Delta V} - t_p \frac{S_{\Delta V}}{\sqrt{n}} \leq \Delta V \leq \bar{\Delta V} + t_p \frac{S_{\Delta V}}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

где  $t_p$  - коэффициент Стьюдента при заданной доверительной вероятности.



4.9 Вычислить среднее значение плотности: в приведённую зависимость (1) подставить средние значения массы ( $\bar{m}$ ) и объёма ( $\bar{V}$ ):

$$\tilde{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}} \quad (8)$$

4.10 Вычислить стандартное отклонение среднего значения плотности  $S_{\tilde{\rho}}$

$$S_{\tilde{\rho}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial V}\right)^2 (S_V)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 (S_m)^2} \quad (9)$$

4.11 Представить результат вычислений в виде доверительного интервала

$$\tilde{\rho} - t_p S_{\tilde{\rho}} \leq \rho \leq \tilde{\rho} + t_p S_{\tilde{\rho}} \quad (10)$$

## 5 Содержание отчёта:

5.1 Цель работы

5.2 Таблицы измерений:

Таблица 1 – Результаты измерений массы

Номер измерения	Результат измерения $m_i$	Среднее значение $\bar{m}$
1		
2		
3		
4		
5		

Таблица 2 – Результаты измерения объёма

Номер измерения	Результат первого измерения объёма $V_1$	Результат второго измерения объёма $V_2$	Разность результатов (объём тела) $V_2 - V_1 = \Delta V$	Среднее значение $\Delta \bar{V}$
1				
2				
3				
4				
5				

5.3 Вычисление и представление результатов

5.4 Выводы по работе

## **Лабораторная работа №8**

### **«ИЗМЕРЕНИЕ БЛЕСКА»**

#### **1 Цель работы**

Ознакомиться с оптическими явлениями и способами измерения блеска; изучить принцип действия блескомера ФБ – 2; получить навыки обработки результатов измерений показателей качества поверхностей.

#### **2 Оборудование**

- 2.1 Фотоэлектрический блескомер ФБ – 2;
- 2.2 Стандартный образец блестящей поверхности;
- 2.3 Стандартный образец белой поверхности;
- 2.4 Контролируемые образцы.

#### **3 Объекты измерений**

Блеск - характеристика свойства поверхности, отражающей свет. Блеск обусловлен зеркальным отражением света от поверхности, происходящим обычно одновременно с рассеянным (диффузным) отражением. Глаз человека воспринимает зеркальное отражение на фоне диффузного и количественная оценка блеска определяется соотношением между интенсивностями зеркально и диффузно отраженного света. Изменение блеска является показателем начальной стадии разрушения поверхности.

Как измеряемая физическая величина блеск – это отношение светового потока, отраженного от образца в зеркальном направлении к приемнику (источник и приемник расположены под заданным углом), к световому потоку, отраженному в зеркальном направлении от стекла с показателем преломления 1,567.

#### **4 Измерение блеска**

В зависимости от функционального назначения устанавливают и нормируют показатели качества изделия, такими показателями могут быть, например физико-механические свойства, пористость, водостойкость и т.д. Так, в мебельной промышленности лакокрасочные покрытия выполняют одновременно защитные и декоративные функции. Последние, для поверхностей деревянных изделий, оцениваются следующими параметрами качества: коэффициентами зеркального отражения и яркости.

Зеркальное отражение – это возвращение световой волны при её падении на поверхность раздела двух сред. Количественно эта величина оценивается коэффициентом зеркального отражения. Представляющего собой степень отражения светового, потока от поверхности в процентах относительно эталона при геометрии освещения - наблюдения 45°/45°.

Степень белизны поверхности в видимой области спектра при восприятии человеческим глазом количественно оценивается

коэффициентом яркости. Этот параметр определяется в процентах относительно эталона белого цвета при геометрии освещения наблюдения  $45^\circ/0^\circ$ . таким образом, обе характеристики, поверхности лакокрасочных покрытий определяются по сравнению с эталонами, т.е. относительным методом измерения.

Из всего спектра электромагнитных волн световой диапазон занимает относительно небольшой участок, а именно - длину волн от  $4 \times 10^{-5}$  до  $8 \times 10^{-5}$  см. Определенная часть световых волн, падающих на поверхность изделия, поглощается ею, а часть - отражается от нее. Отражательная способность у материалов различна и зависит от шероховатости поверхности, направления следов обработки, природы материала и качества покрытия.

Сущность метода определения блеска покрытий заключается в измерении величин Фототока, возбуждаемого в Фотоприемнике под действием пучка света, отраженного от контролируемой поверхности. Метод обеспечивает количественную оценку блеска покрытий, которую выражают в процентах в соответствии с показаниями шкалы прибора.

Фотоэлектрический блескомер модели ФБ-2 (рисунок 1) состоит из измерительного прибора и преобразователя и предназначен для преобразования изменения напряжения на нагрузке фотоэлемента. Функционально связанного со степенью белизны и блеска покрытий, в форму, доступную для непосредственного восприятия (в перемещение стрелки показывающего прибора), в качестве показывающего прибора в конструкции блескомера применен микроамперметр М136.

Принципиальная схема прибора показана на рисунке 2. Прибор включает: тубус А источника света с осветителем 2 и оптической системой 1 и расположенный под углом  $90^\circ$  тубус Б приемника света с фотоэлементом 3 и аналогичной оптической системой 1. Фотоэлемент 3 через усилитель 5 и приспособление 6 для настройки электрической схемы соединен с измерительным прибором 4.

При определении степени блеска параллельный пучок лучей, отразившись от поверхности контролируемого образца и пройдя через диафрагму. Фокусируется на Фотоэлементе, установленном под углом  $45^\circ$  от нормали к контролируемой поверхности. Оптические оси систем осветителя и фотоприемника находятся под равными углами относительно перпендикуляра к измеряемой поверхности.

При определении степени белизны параллельный пучок лучей, отразившись от поверхности контролируемого образца, направляется на приемник света (фотоэлемент), установленный под углом  $45^\circ$  к направлению падения лучей в среднее отверстие корпуса преобразователя. Фототок, возникающий в результате освещения фотоэлемента, вызывает падение напряжения на нагрузочном резисторе и измеряется при помощи микроамперметра М136, шкала которого отградуирована в процентах.

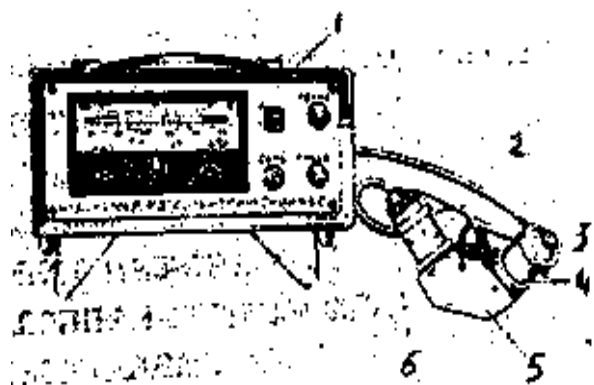


Рисунок 1 - Блескомер фотоэлектрический типа ФБ-2 :

1—прибор измерительный; 2 - тубус приемника света; 3 - источник света;  
4 - тубус источника света; 5 - корпус преобразователя; 6 - фотоэлемент

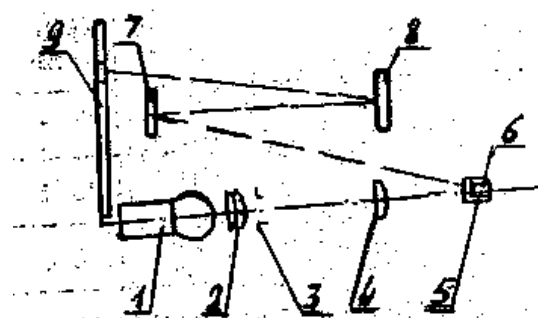


Рисунок 2 - Принципиальная схема устройства ФБ - 2

Метрологические характеристики прибора приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Метрологические характеристики прибора ФБ-2

Измеряемый параметр	Диапазон измерения, %	Абсолютная погрешность, %	Цена деления шкалы, %	Пределы шкалы измерительного прибора, мкА	Продолжительность одного измерения, мин.
коэффициент зеркального отражения	0 - 65	±4	1	0 - 1	не более, 2
коэффициент яркости	0 - 100				

## 5 Порядок выполнения лабораторной работы

5.1 Ознакомиться с общими, положениями настоящего методического руководства.

5.2 Оформить отчет в соответствии с п.7.

5.3 Произвести настройку микроамперметра - установить световой указатель на начальную отметку шкалы - для чего следует ослабить винт, которым крепится фотоэлемент к тубусу приемника света, и закрыть рабочую поверхность фотоэлемента; бумагой. При этом указатель

микроамперметра должен находиться на начальной отметке шкалы, в противном случае следует повернуть корректор в нужную сторону.

5.4 Определить коэффициент зеркального отражения поверхности (степени блеска)^

- Установить фотоэлемент в тубус приемника света (45°/45°) и закрепить винтом;
- Закрыть среднее отверстие в корпусе датчика крышкой и закрепить ее винтом.
- Установить преобразователь блескомера на рабочий стандартный образец блестящей поверхности (пластана черного цвета) и ручками с надписями "грубо" и "точно" подвести указатель микроамперметра к отметке шкалы, соответствующей указанному в свидетельстве образца коэффициенту зеркального отражения
- Перенести преобразователь на поверхность контролируемого образца, отметить показания блескомера по шкале, занести результаты, измерения в таблицу отчета.
- Повторить измерения по п.п. 5.4.1- 5.4.4 три раза для каждого из трех образцов.

5.5. Определить коэффициент яркости поверхности (степени белизны)

- Ослабить винт, которым крепится Фотоэлемент к тубусу приемника света, перенести его в среднее отверстие корпуса преобразователя и закрепить, винтом.
- Установить преобразователь на рабочий стандартный образец белой поверхности (пластина типа молочного стекла) и ручками с надписями "грубо" и "точно" подвести указатель микроамперметра к отметке шкалы соответствующей указанному в свидетельстве образца коэффициенту яркости.
- Перенести преобразователь на поверхность контролируемого образца, отметить показание блескомера по шкале, занести результаты измерения в таблицу отчета.
- Повторить измерения по п. п. 5.5.1 - 5. 5.3 три раза для каждого из трех образцов.

5.6. Обработать результаты измерений

- Найти среднее арифметическое значение по формуле (1)

$$y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i \quad (1)$$

и занести результат в таблицу отсчета;

- По результатам, измерений построить график зависимости параметров поверхности образцов от количества слоев лакового покрытия (толщина слоя покрытия);

- Сделать заключение о годности деталей и характере брака (исправимый или неисправимый).

## 6 Контрольные вопросы

- 6.1 Как нормируются параметры поверхностей изделий по результатам измерений блескомером?
- 6.2 В чем заключается принцип работы Фотоэлектрического блескомера?
- 6.3 Измерения каких параметров осуществляются блескомером?
- 6.4 Каковы различия в настройке датчика блескомера при измерении степени белизны поверхности и степени блеска?
- 6.5 Как осуществляется настройка, микроамперметра блескомера?

## 7 Форма отчета

- 7.1 Цель работы.
- 7.2 Оборудование и принадлежности.
- 7.3 Принципиальная схема устройства.
- 7.4 Технические и метрологические характеристики:

Тип прибора -  
 Цена деления шкалы, % . -  
 Диапазон измерений, % -  
 Абсолютная погрешность -  
 Пределы шкалы, МКА  
 Продолжительность однократного измерения, мин. -  
 7.5 Результаты измерений

Таблица 2 - Результаты измерений

Характеристики образца		Коэффициент зеркального отражения				Коэффициент яркости			
Материал	N замера	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y	y <sub>1</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>3</sub>	y
образца	N образца								
	1								
	2								
	3								

- 7.6 Построить графики зависимости параметров поверхности образцов от количества слоев лакового покрытия (толщины слоя покрытия).
- 7.7 Заключение о годности.

## **Лабораторная работа №9** **«ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУХА** **С ПОМОЩЬЮ АНЕМОМЕТРА»**

### **Цель работы**

Изучение методов и средств измерения угловых и линейных скоростей, исследование рабочих характеристик электродвигателя, измерение скоростей воздушных потоков.

### **Оборудование**

1. Тахометр часовой ТЧ10 - Р.
2. Анемометр АСО - 3.
3. Секундомер.
4. Вентилятор бытовой.
5. Электродвигатель.

### **Общие сведения.**

Задачи измерения угловых и линейных скоростей имеют большое значение в транспортном и энергетическом машиностроении, в научных исследованиях, в бытовых сферах и других областях.

### **Методы и средства измерения угловых скоростей.**

Приборы, предназначенные для измерения угловых скоростей, называются тахометрами. В устройствах тахометров используются физические явления, в которых скорость вращения связана определенной зависимостью с каким - либо динамическим эффектом. Чаще всего тахометры классифицируют по принципу действия чувствительного элемента (табл.1), кроме того, существуют классификации по виду указательной системы, по области применения, по дистанционности и т.д.

Наибольшее распространение благодаря своей простоте и точности получили тахометры механические центробежные и часовые, магнитные, электрические постоянного и переменного тока.

### **Методы и средства измерения линейных скоростей.**

Приборы для измерения линейных скоростей называются спидометрами или анемометрами. Наиболее распространенными методами измерения линейных скоростей являются аэрометрический, компенсационный (манометрический), термодинамический, электромагнитный и турбинный (табл.2).

Аэрометрический метод основан на измерении скоростного (динамического) напора, функционально связанного со скоростью тела, движущегося в воздушной среде.

Компенсационный метод основан на автоматическом уравнивании полного давления давлением, развиваемым воздушным компрессором.

Электромагнитный метод измерения линейной скорости аналогичен измерению угловой скорости.

В турбинном методе используется кинематическая энергия воздушного или водного потока для вращения тангенциальной или аксиальной турбины.

### **Устройство и принцип действия часового тахометра ТЧ10 - Р.**

Схема часового тахометра приведена на рисунке 1.

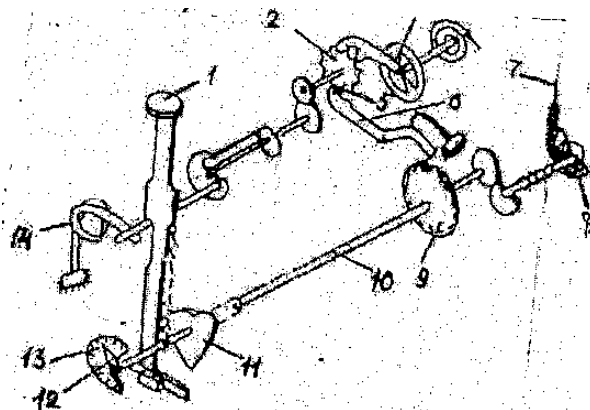


Рисунок 1 Схема часового тахометра.

Пуск механизма производится нажатием кнопки пускового рычага 1. При нажатии заводится пружина 14 часового механизма. Одновременно пусковой рычаг поворачивает сердечко / кулачок / 2 сидящее фрикционно на центральной оси 10, возвращая стрелку 12 на нулевую отметку циферблата 13. После опускания кнопки стрелка и центральная ось остаются застопоренными собачкой 6 специальным колесом 9, неподвижно сидящим на центральной оси. Приводной валик 7 присоединяется к испытуемому валу перед пуском тахометра; он может вращаться благодаря проскальзыванию во фрикционной муфте 8. Заведенная пружина 14 приводит в действие часовой механизм, спусковое колесо 2 начинает вращаться, палец 5 спускового колеса нажимает на собачку 6, освобождая колесо 9 и ось 10. Стрелка начинает вращаться. По истечении определенного времени / обычно 3...6 с / палец 5 автоматически освобождает собачку 6, которая стопорит колесо 9 и ось 10. Стрелка останавливается и по шкале можно произвести отсчет измеренной угловой скорости. После измерения прибор отключают от испытуемого вала. Характеристика этого тахометра имеет вид:



$$\alpha = i\tau\omega_{\text{ср}}$$

или

$$\alpha = (\pi/30)i\tau n_{\text{ср}}$$

где:  $\alpha$  - угол поворота стрелки счетчика, рад.;  $i$  - передаточное отношение между осью стрелки и приводным валиком тахометра;  $\tau$  - время работы счетчика, с.

Относительная приведенная погрешность тахометра не должна превышать  $\pm 1\%$  при установке прибора в нормальном положении /шкала горизонтальна, приводной и поверяемый валы соосны/ и при температуре в пределах  $20 \pm 5^\circ \text{C}$ .

### Устройство и принцип действия анемометра крыльчатого АСО-3.

Схема анемометра представлена на рисунок 2.

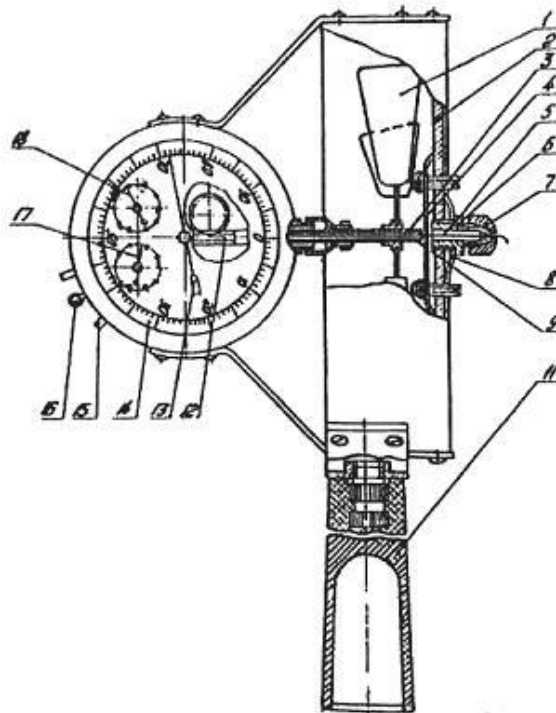


Рисунок 2 Схема анемометра крыльчатого.

Ветроприемником анемометра служит крыльчатка 1, насаженная на трубчатую ось с подшипниковыми втулками 9. Эти втулки вращаются на стальной оси 5, один конец которой впаян в обойму и закреплен в неподвижной опоре, а второй затянут гайкой 7 во втулке 6, находящейся в отверстии распорного стержня 2. Натяжение оси 5 осуществляется пружиной 8. Осевой люфт оси 3 регулируется пружиной 4.

На конце трубчатой оси 3 закреплен червяк 12, передающий вращение ветроприемника зубчатому редуктору счетного механизма, циферблат

которого имеет три шкалы: единиц, сотен, тысяч. Счетный механизм работает следующим образом: червяк 12 через червячное колесо и триб передает движение центральному колесу, на оси которого укреплена стрелка шкалы единиц. Триб центрального колеса через промежуточное колесо, на оси которого насажена стрелка 13 шкалы сотен, приводит во вращение малое колесо. Далее вращение передается второму малому колесу со стрелкой 17 шкалы тысяч на оси.

Включение и выключение механизма производится арретиром 16.

Один конец арретира находится под пластинчатой пружиной, являющейся подпятником червячного вала, другой выведен из корпуса через паз. Для включения счетного механизма арретир поворачивают за выступающий конец по часовой стрелке, при этом червячное колесо входит в зацепление с червяком 12 и ветроприемник анемометра соединяется со счетным механизмом.

Механизм прибора закреплен в металлическом корпусе, снабженном ручкой 2. Ветроприемник защищен от механических повреждений цилиндром, служащим одновременно для сечения воздушного потока.

Перед началом работы включают с помощью арретира передаточный механизм и записывают начальное показание по тем шкалам. После этого анемометр устанавливают в воздушном потоке ветроприемником навстречу потоку и осью крыльчатки вдоль направления потока. Через 10...15 с одновременно включают механизм анемометра и секундомер, выдерживают в течение определенного времени / до 30 с / и одновременно выключают. Далее записывают конечное показание счетчика и время экспозиции в секундах и делением разности конечного и начального показаний счетчика на время экспозиции, приходящихся на одну секунду, по градуировочному графику /рис.3/ определяют скорость потока.

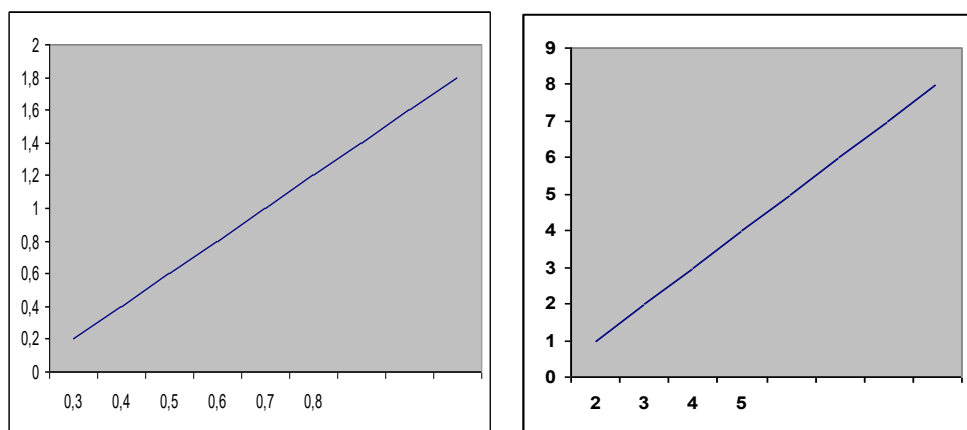


Рисунок 3 Градуировка анемометра.

## **Порядок выполнения работы.**

**1.** Ознакомиться с методами измерения угловых и линейных скоростей, конструкциями и принципом действия часового тахометра и анемометра.

**2** Произвести измерения угловой скорости электродвигателя.

**2.1** Подключить исследуемый электродвигатель через ЛАТР к сети и апробировать.

**2.2** Построить в координатах угловая скорость - напряжение номинальную характеристику электродвигателя.

**2.3** Установить на вал часового тахометра требуемую насадку.

**2.4** Определить значения угловой скорости двигателя при значениях питающего напряжения, соответствующих оцифрованным значениям шкалы ЛАТРа, на прямом и обратном ходе, рассчитать среднее значение, результаты занести в табл. 1 отчета.

**Примечание:** значения угловой скорости определять из зависимости:

$$\omega = \pi n / 30$$

где  $n$  - число оборотов, мин.

**2.5** Рассчитать значения абсолютной, относительной и приведенной погрешности и занести их в табл. 1 отчета.

**2.6** Построить графики номинальной и действительной характеристик двигателя по данным табл. 1.

**2.7** Сделать заключение о соответствии рабочей характеристики двигателя паспортным данным.

**3.** Произвести измерения линейной скорости движения воздуха.

**3.1** Установить вентилятор в оконный проем, подключить к сети, апробировать на разных режимах работы, часовым тахометром с соответствующей насадкой измерить скорость вращения вала вентилятора.

**3.2** Одновременно включая и выключая анемометр и секундомер измерить скорости воздушного потока в различных фиксированных точках помещения при всех режимах работы вентилятора, результаты занести в табл. 2 отчета.

**3.3** По данным табл. 2 построить кривые изменения скорости воздушного потока в зависимости от расстояния от вентилятора и режима его работы.

**3.4** В выводах по разделу представить рекомендации о возможности использования данного вентилятора для проветривания помещения в соответствии с санитарными нормами и правилами.

## **Содержание отчета**

**1** Цель работы.

**2** Перечень оборудования.

**3** Исследование рабочей характеристики электродвигателя.

Напряжение питания, В	Номинальная угловая скорость, $\text{C}^{-1}$	Действит. угловая скор., $\text{C}^{-1}$	ПОГРЕШНОСТИ		
			Абсолют $\text{C}^{-1}$	Относит. %	Приведен. %
4					
6					
.....					
24					

График характеристик электродвигателя

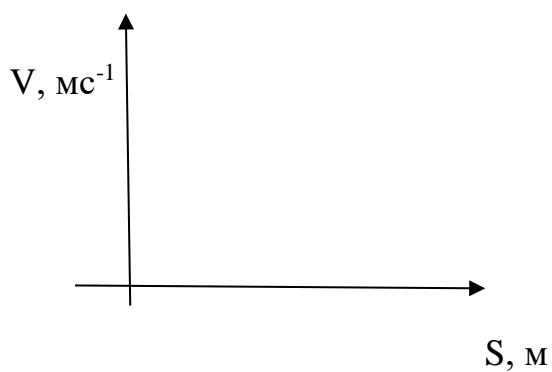


**Заключение по разделу**

**4. Измерение скорости воздушного потока.**

Таблица 2

Расстояние от вентилятора. М	Скорости потока, $\text{м} * \text{с}^{-1}$	
	Режим 1	Режим 2
1		
2		
3		
4		
5		



**Заключение по разделу**

## **Лабораторная работа №10**

### **«СТРУКТУРА СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ»**

#### **1 Цель работы**

Ознакомление с видами средств измерений (СИ) и их структурными элементами.

#### **2 Задачи работы:**

- 2.1 Научиться классифицировать средства измерений;
- 2.2 Ознакомиться с характеристиками СИ разных видов и составом их структурных элементов, включая чувствительные элементы и устройства отображения измерительной информации;
- 2.3 Научиться выделять элементы СИ и строить структурные схемы.

#### **3 Оборудование**

Меры длины, угла, объема, массы (линейка измерительная, набор плоскопараллельных концевых мер длины, транспортир, сосуды измерительные, набор разновесов); Накладные и станковые приборы для измерений длины (штангенциркуль, микрометр гладкий, микрометр рычажный или скоба рычажная, измерительные головки со штативом или стойкой и др.); весы для измерения массы взвешиванием; вольтметр, амперметр, омметр для измерений электрических величин.

#### **4 Объект измерений**

Детали типа тел вращения, призм, резисторы, источники постоянного тока.

Измеряемые параметры: линейные размеры, объем, масса, электрическое сопротивление, напряжение, ток.

#### **5 Общие положения**

В зависимости от функционального назначения и конструктивного исполнения различают следующие средства измерений:

- меры;
- измерительные преобразователи;
- измерительные приборы;
- индикаторы.

Кроме того, основные и вспомогательные средства измерений и дополнительные устройства могут быть объединены в измерительные установки или измерительные системы, рассматриваемые как более сложные средства измерений.

Меры предназначены для хранения и воспроизведения физической величины одного заданного размера (однозначные меры) или ряда размеров (многозначные меры). Многозначные меры могут механически объединять несколько однозначных мер (ступенчатая мера длины, многогранная угловая

концевая мера с тремя, четырьмя или шестью рабочими углами). Многозначными мерами являются также штриховые меры со шкалой (линейка измерительная, транспортир). Меры могут комплектоваться в наборы (наборы концевых мер длины, наборы разновесов).

Измерительные преобразователи предназначены для получения сигнала измерительной информации, его преобразования и выдачи в любой форме, удобной для передачи, обработки, хранения или дальнейшего преобразования, но не поддающейся непосредственному восприятию оператором. Различают первичные и промежуточные измерительные преобразователи. Первичные измерительные преобразователи – первые в измерительной цепи – воспринимают саму измеряемую физическую величину и преобразуют ее в сигнал измерительной информации (терморезистор термометра сопротивления, фотоэлемент экспонетра), а промежуточные измерительные преобразователи занимают в измерительной цепи любое место после первичного.

Измерительные приборы предназначены для получения измерительной информации от измеряемой физической величины, ее преобразования и выдачи в форме, поддающейся непосредственному восприятию оператором. По виду выходного сигнала приборы принято делить на аналоговые, у которых выходной сигнал является непрерывной функцией измеряемой величины, и дискретные, имеющие выходной сигнал в числовой форме. Различают приборы показывающие и регистрирующие (самопишущие и печатающие). Измерительные приборы состоят из цепочки преобразователей (первичного и промежуточных) и устройства отображения измерительной информации (шкала-указатель, цифровое табло, самопишущее, цифropечатающее или другое регистрирующее устройство).

Индикаторы – особый вид средств измерений в виде технического устройства или вещества, предназначенного для установления наличия (отсутствия) какой-либо физической величины или определения ее порогового значения (индикатор фазового провода электропроводки, индикатор контакта измерительного наконечника прибора для линейных измерений с поверхностью детали, лакмусовая бумага). В некоторых случаях в качестве индикаторов могут использоваться измерительные приборы (часы-будильник, омметр при проверке обрыва в электрической цепи).

Средства измерений принято различать по принципам действия, то есть по физическим принципам, используемым для преобразования измеряемой величины или сигнала измерительной информации. Например, измерительный микроскоп относится к оптико-механическим приборам, индуктивный или резистивный преобразователь – к электрическим средствам измерений и т.д.

Измерительная цепь средства измерений – совокупность преобразовательных элементов, осуществляющих все преобразования измерительной информации в данном устройстве. Измерительная цепь средства измерений начинается с чувствительного элемента, который

представляет собой часть первого в измерительной цепи преобразовательного элемента (первичного измерительного преобразователя), непосредственно воспринимающую сигнал измерительной информации от измеряемого объекта, т.е. находящуюся под непосредственным воздействием измеряемой физической величины (резервуар жидкостного термометра, крюк динамометра, губки штангенциркуля).

Измерительный прибор обязательно имеет устройство отображения (выдачи) измерительной информации. У приборов с визуальными устройствами это чаще всего отсчетные устройства типа шкала-указатель или цифровое табло. В приборах и индикаторах применяют и другие устройства визуальной индикации (нуль-указатели, табло светофорного типа), а также акустические устройства (звонок, зуммер таймера) или тактильные устройства (вибратор наручного будильника). В качестве устройств выдачи информации могут использоваться также любые регистрирующие самопишущие или печатающие устройства.

Шкала средства измерений – часть отсчетного устройства, представляющая собой совокупность отметок и поставленных у некоторых из них чисел отсчета или других символов, соответствующих ряду последовательных значений величины. Отметки могут быть в виде штриха, точки, другой геометрической фигуры. Промежуток между двумя соседними отметками шкалы называется делением шкалы. Длина деления шкалы – расстояние между осями или центрами двух соседних отметок шкалы, измеренное вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы. Шкалы могут быть равномерными (с делениями постоянной длины и с постоянной ценой деления), либо неравномерными (с делениями непостоянной длины, а в некоторых случаях и с переменной ценой деления). Цена деления шкалы – разность значений величин, соответствующих двум соседним отметкам шкалы.

Указатель средства измерений – часть аналогового отсчетного устройства, положение которого относительно отметок шкалы определяет показание средства измерений. Указатель может быть выполнен в виде стрелки, штриха, кромки детали, перемещающейся относительно шкалы, светового пятна и т.д. Изменение показаний в системе шкала-указатель, может осуществляться за счет перемещения любого из элементов относительно другого.

Прибор может быть снабжен несколькими шкалами (индикатор часового типа, измерительные головки ИГМ) или одной шкалой с несколькими указателями (часы с циферблатом и центральными стрелками).

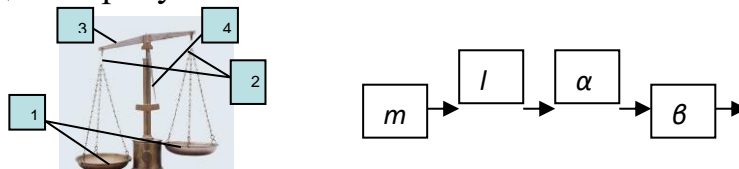
При выдаче измерительной информации на цифровое табло существенно важны такие его структурные элементы, как

- вид выходного кода (десятиричный, шестидесятиричный, другой);
- предельное число знаков, в том числе цифр (число разрядов выходного кода) и других (не цифровых), виды знаков и их содержание (наличие

фиксированной или плавающей разделительной десятичной запятой (точки), минуса, знака переполнения или неправильного подключения и др.);

- цена единицы наименьшего разряда кода и номинальная ступень квантования, если она больше цены единицы наименьшего разряда кода.

Пример кинематической и структурной схем равноплечих весов приведен на рисунке 1.



а)

б)

Рисунок 1 - Кинематическая (а) и структурная (б) схемы пружинных весов

1 – чувствительный элемент (две чашки), 2 – первичный измерительный преобразователь (шарнирный подвес с чашкой – два преобразователя), 3 – промежуточный измерительный преобразователь (равноплечий рычаг с шарниром), 4 – устройство отображения измерительной информации (стрелка на рычаге– указатель и шкала – нулевая отметка на стойке), 5 – стойка.

На структурной схеме стрелками показано движение измерительной информации. Выделение измерительных преобразователей осуществляют на основе логического анализа выполняемых ими функций и конструктивной завершенности (автономности). Шкала устройства отображения измерительной информации может иметь множество делений или только одно нулевое деление; такие приборы предназначены для измерения нулевым методом.

## 6 Методические указания по выполнению работы

### 6.1 Задание

- Проанализировать функции и классифицировать заданные средства измерений; зафиксировать основные характеристики СИ (приборов, измерительных преобразователей, индикаторов, многозначных и однозначных мер).
- При необходимости уточнения характеристик СИ выполнить измерения выбранных физических величин с помощью мер и измерительных приборов (использовать цифровые и аналоговые приборы).
- Ознакомиться со структурными элементами сложных средств измерений (многозначных мер, измерительных преобразователей, измерительных приборов), представить их схемы и краткие описания.

### 6.2 Выполнение работы

Анализ предложенных средств измерений следует начинать с их классификации, после чего рассматривают группы однородных СИ.

Для однозначных мер начинают с выяснения того, какую физическую величину воспроизводит мера и каково ее номинальное значение. Для



многозначных мер определяют число воспроизводимых мерой номинальных значений физической величины, а если мера штриховая, то указывают также цену деления. Обобщенной характеристикой точности может служить класс или разряд меры, которые указывают в документах на конкретные СИ. Если они неизвестны, в соответствующей клетке таблицы ставят прочерк.

Для средств измерений, более сложных чем меры (преобразующих измерительную информацию), определяют принцип преобразования, выявляют первичный преобразователь, чувствительный элемент, а также определяют характер изменения выходного сигнала (аналоговый или дискретный), вид выходного сигнала (визуальный, звуковой, не воспринимаемый оператором, др.) и вид устройства отображения информации (шкала-указатель, цифровое табло, др.).

Например, при использовании электролампы в качестве индикатора наличия в розетке электрического тока можно сказать, что принцип преобразования сигнала измерительной информации – электрический, чувствительные элементы – контактные стержни вилки, характер изменения выходного сигнала – дискретный (горит – не горит), вид выходного сигнала визуальный, и вид устройства отображения информации – сигнальная лампочка. Если для тех же целей использовать радиоприемник, выходной сигнал будет звуковым (возможно также визуальным), а устройство отображения информации – динамик.

Тензорезистор – измерительный преобразователь с электрическим принципом преобразования сигнала измерительной информации, характер изменения выходного сигнала – непрерывный, выходной сигнал выдается в форме не воспринимаемой оператором, устройство отображения информации отсутствует. Обычно первичным измерительным преобразователем при использовании тензорезистора в измерительных устройствах бывает упругий механический элемент (тензобалка, мембрана...), а сигнал передают на усилитель и далее – на устройство отображения информации.

При изучении ряда элементов аналоговых СИ можно обойтись без измерений. Например, не надо измерять температуру тела, чтобы сказать, что медицинский ртутный термометр – измерительный прибор, работающий на использовании принципа объемного расширения жидкости, аналоговый, с диапазоном шкалы от 35°C до 42°C и ценой деления 0,1°C. Шкала одна, прямолинейная равномерная, указателем служит край ртутного столбика. Чувствительный элемент – резервуар термометра, первичный (и единственный) измерительный преобразователь – капиллярная трубка с резервуаром, заполненным расширяющейся жидкостью (ртутью).

Поскольку другие приборы не так прозрачны, для построения их структурных схем используют кинематические, электрические и другие схемы, и/или чертежи и описания конструкции и работы прибора.

### 6.3 Оформление результатов работы

Результаты работы оформляют в виде таблиц, структурных схем и необходимых текстовых описаний (таблицы 1...5 даны с примерами заполнения). Если соответствующая клетка таблицы не может быть заполнена, в ней ставят прочерк, а при отсутствии оцениваемого элемента записывают "нет", "отсутствует" и т.д. Пример оформления структурных схем приведен на рисунке 1.

Таблица 1 - Характеристики однозначных мер

Наименование меры	Воспроизводимая величина	Номинальное значение	Уровень точности
Мера угловая концевая	Плоский угол	30° 15'	2 класс
Образцовый резистор	Сопротивление	200 Ом	1 разряд

Таблица 2 - Характеристики многозначных мер

Наименование меры	Воспроизводимая величина	Номинальные значения	Цена деления	Уровень точности
Мера угловая штриховая (транспортир)	Плоский угол	0о ... 180о	1°	не нормирован
Мера угловая концевая с четырьмя рабочими углами	Плоский угол	89о50'; 89о59'30"; 90о00'30"; 90о10'	—	1 класс

Таблица 3 - Общие характеристики преобразующих средств измерений

Наименование	Принцип преобразования	Первичный преобразователь	Чувствительный элемент	Изменение выходного сигнала Аналоговое/ дискретное	Вид выходного сигнала	Устройство отображения информации
Динамометр	Механический	Пружина	Крюк	Аналоговое	Визуальный	Шкала-указатель
Реле размерное	Электрический	Шток в направляющих	Измерит. наконечник	Дискретное	Визуальный	Сигнальные лампы
Индикатор контакта	Электрический	—	—	дискретное	Визуальный и звуковой	Лампочки и зуммер

Таблица 4 - Аналоговые устройства отображения измерительной информации

Наименование СИ	Число шкал	Вид шкалы	Вид отметок	Цена деления	Число указат	Вид указателя
Нутромер микрометрический	2	1 Прямолинейная равномерная 2 Круговая равномерная	штрихи штрихи	0,5 мм 0,01 мм	2	1 Край барабана; 2 Линия на стебле

Таблица 5 - Дискретные (числовые) устройства отображения информации

Наименование прибора	Характеристики числового табло				
	Вид кода	Число разрядов	Номинальная ступень квантования	Запятая (точка)	Другие символы
Длиномер цифровой	десятичный	6	0,001 мм	фиксированная	"Плюс" и "Минус"

## Лабораторная работа №11

### «ИЗМЕРЕНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЕКТОВ РАЗЛИЧНЫМИ СПОСОБАМИ»

#### 1 Цель работы

Научиться пользоваться различными методами и средствами для измерения физических характеристик объектов и представлять результаты измерений.

#### 2 Оборудование

2.1 Весы электронные.

2.2 Градуированная мензурка с водой.

2.3 Различные объекты измерения – детали сложной конфигурации из различных материалов.

#### 3 Общие положения

На практике при проектировании, изготовлении и эксплуатации часто бывает необходимо знание основных характеристик различных объектов. Часто такими характеристиками являются масса, объём, плотность.

Существует много методов и средств непосредственного измерения массы. Выбор того или другого определяется требуемой точностью и размерами объектов.

Если объект имеет правильную геометрическую форму (цилиндр, куб, призма и т. д.), измерить его геометрические размеры не составляет труда, а значит легко вычислить и объём. Если же конфигурация объекта оригинальна, задача определения объёма усложняется. Эта задача может быть решена с помощью мензурки с водой. Этот способ основан на том, что при погружении тела в жидкость объём жидкости с погруженным в нее телом увеличивается на величину объема тела. Следовательно, необходимо только определить разность объёмов после и до погружения измеряемого объекта.

Плотность можно определить только по известной физической зависимости как соотношение массы и объёма.

Таким образом, для определения массы ( $m$ ) необходимо воспользоваться весами, объём ( $V$ ) определяется как количество вытесненной из стакана воды после погружения в него объекта, а для определения плотности существует расчётная формула (1):

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Результаты измерений, как случайного процесса, обычно выражаются в виде интервала при заданной доверительной вероятности.

## 4 Порядок выполнения работы

4.1 Установить весы на твёрдую плоскую поверхность, нажать клавишу ON/TARE/OFF: на экране появится «8888», а через 4 секунды «0.0». Весы готовы к работе.

4.2 Поместить объект на измерительную платформу. На экране высветится вес объекта. Удалить объект с платформы, а результат внести в таблицу 1 отчёта.

4.3 Вычислить среднее значение и стандартное отклонение массы

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

$$S_m = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}{n-1}} \quad (3)$$

4.4 Представить результат измерения в виде доверительного интервала

$$\bar{m} - t_p \frac{S_m}{\sqrt{n}} \leq m \leq \bar{m} + t_p \frac{S_m}{\sqrt{n}} \quad (4)$$

где  $t_p$  - коэффициент Стьюдента при заданной доверительной вероятности.

4.5 В мензурку налить вода в количестве достаточном для того, чтобы полностью погрузить в нее измеряемое тело, измерить объем, результат внести в таблицу 2 отчёта;

4.6 В воду полностью погрузить измеряемое тело, измерить объем, результат внести в таблицу 2 отчёта;

**Примечание:** К измеряемому телу лучше привязать нитку, чтобы с ее помощью аккуратно опустить объект в воду, а затем и извлечь из мензурки. Если тело плавает, нужно полностью погрузить его в воду при помощи карандаша, спицы или проволоки, иначе будет измерен только объем той части объекта, которая находится под водой.

4.7 Вычислить разницу второго и первого объемов, результат внести в таблицу 2 отчёта; эксперимент повторить 5 раз, затем определить среднее значение  $\bar{\Delta V}$  и стандартное отклонение  $S_{\Delta V}$ ;

$$\bar{\Delta V} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta V_i \quad (5)$$

$$S_{\Delta V} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta V_i - \bar{\Delta V})^2}{n-1}} \quad (6)$$

4.8 Представить результат измерения в виде доверительного интервала

$$\bar{\Delta V} - t_p \frac{S_{\Delta V}}{\sqrt{n}} \leq \Delta V \leq \bar{\Delta V} + t_p \frac{S_{\Delta V}}{\sqrt{n}} \quad (7)$$

где  $t_p$  - коэффициент Стьюдента при заданной доверительной вероятности.

4.9 Вычислить среднее значение плотности: в приведённую зависимость (1) подставить средние значения массы ( $\bar{m}$ ) и объёма ( $\bar{V}$ ):

$$\tilde{\rho} = \frac{\bar{m}}{\bar{V}} \quad (8)$$

4.10 Вычислить стандартное отклонение среднего значения плотности  $S_{\tilde{\rho}}$

$$S_{\tilde{\rho}} = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho}{\partial V}\right)^2 (S_V)^2 + \left(\frac{\partial \rho}{\partial m}\right)^2 (S_m)^2} \quad (9)$$

4.11 Представить результат вычислений в виде доверительного интервала

$$\tilde{\rho} - t_p S_{\tilde{\rho}} \leq \rho \leq \tilde{\rho} + t_p S_{\tilde{\rho}} \quad (10)$$

## 5 Форма отчета

5.1 Цель и задачи работы

5.2 Оборудование

5.3 Таблицы измерений:

Таблица 1 – Результаты измерений массы

Номер измерения	Результат измерения $m_i$	Среднее значение $\bar{m}$
1		
2		
3		
4		
5		

Таблица 2 – Результаты измерения объёма

Номер измерения	Результат первого измерения объёма $V_1$	Результат второго измерения объёма $V_2$	Разность результатов (объём тела) $V_2 - V_1 = \Delta V$	Среднее значение $\Delta \bar{V}$
1				
2				
3				
4				
5				

5.3 Вычисление и представление результатов

5.4 Выводы по работе

## **Лабораторная работа №12**

### **«ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ КАЧЕСТВА ЧАЯ»**

#### **1 Цель работы**

Изучение органолептических методов оценки качества чая, привитие навыков работы титестеров, проведение процедуры оценки различных сортов чая и построение ранжированного ряда по качеству чая.

#### **2 Оборудование**

- 2.1 Фарфоровые дегустационные чашки – 12 шт.
- 2.2 Чайники для заварки чая емкостью до 125 мл – 4 шт.
- 2.3 Чайник для кипячения воды – 1 шт.
- 2.4 Весы с точностью взвешивания до 1 г – 1 шт.
- 2.5 Часы с точностью определения времени до 1 мин.
- 2.6 Образцы разных чаев.

#### **3 Методы измерения качества чая**

##### **3.1 Общие сведения**

В определённых областях не существует иных методов измерения, кроме тех, которые основываются на органах чувств человека. Это парфюмерия, табачная промышленность, виноделие, и другие. К таким сферам относится и производство чая. Хотя сегодня уже применяют биохимический, химический, газовый и другие анализы, для определения некоторых показателей качества чая, в основном на отдельных этапах его производства, когда необходимо скорректировать режим той или иной технологической операции и в чайном листе важно определить какое-либо одно, важное для данной операции качество. Однако все эти методы объективной оценки не могут пока дать достаточно ясного представления о вкусе и аромате чая и о совокупности его качественных показателей. Поэтому на них нельзя пока основывать общую оценку достоинства чая, которая является определяющей для установления стоимости чая. Это ответственное дело пока всё ещё поручают человеку – специалисту-титестеру (английское слово титестер можно перевести как «пробующий чай»), живое, непосредственное впечатление которого, как ни парадоксально, оказывается более объективным и точным, чем показания анализов.

На восприятие органов чувств влияют многие факторы: чистота и относительная влажность воздуха, температура пробы и окружающей среды, освещенность помещения и т.д. Так, наилучшей температурой воздуха в

комнате, где производится органолептический анализ (дегустация), считается 20...24°C, а оптимальной температурой приготовленной для дегустации пробы — 80°C. Относительную влажность воздуха, которая способствует лучшему восприятию запаха при органолептическом анализе чая, желательно поддерживать на уровне 60-70%. Как доказано экспериментами, свет обостряет обоняние и другие органы чувств, благоприятно действуя на общее состояние центральной нервной системы человека. Кроме того, в светлом помещении легче соблюдать качество визуального контроля. Поэтому дегустацию чая необходимо производить в помещении, соответствующем данным условиям и не содержащим резких запахов, чтобы титестер мог воспринимать тонкие оттенки вкуса и аромата.

### 3.2 Основные показатели качества чая и критерии их оценки

Контроль качества чая можно разделить по трём стадиям технологического процесса: выращивание чайного листа, производство чая и анализ готового продукта. На первых двух может осуществляться инструментальный контроль с использованием вышеуказанных методов, хотя он и требует сложного и дорогого технического оборудования. Но этот контроль оценивает качество только полуфабриката или фабриката. Самым достоверным методом точного определения качества произведенного чая является дегустация. Несмотря на субъективность метода, он имеет большое значение для быстрого распознавания качества чая, так как некоторые свойства чая (оттенки запахов, дымность, наличие разных привкусов и другие) не могут быть охарактеризованы без титестерского опробования.

Определение качества и сортности чая проводится по пяти качественным показателям: 1) внешний вид; 2) интенсивность настоя; 3) аромат; 4) вкус; 5) цвет разваренного листа. Безошибочная оценка качества продукции зависит от правильного определения каждого из них. Значение этих качественных показателей в отдельности и их балльные оценки приведены в приложении А.

### 3.3 Порядок дегустации

Процедура дегустации строго последовательна. Как правило, представленные для оценки образцы пробуются тремя титестерами. Каждый титестер работает самостоятельно. Вначале проверяется уборка (внешний вид) чая, затем (на глаз) — степень интенсивности настоя; после этого образец пробуют сперва на аромат, потом на вкус; последним проверяется цвет разваренного листа.

Сначала на точных титестерских весах отвешивают порции по 3 г чая, которые в течение 5 минут заваривают свежим кипятком в маленьких фарфоровых чайниках стандартной емкостью 125 мл. Пока чай настаивается, титестеры изучают содержимое пачек — сухие чайинки. По внешнему виду можно определить уборку частиц сухого чая (их размер, однородность, скрученность). Затем полученный настой выливают в чашку так, чтобы туда



не попали разваренные чайники. Пока чай остывает, титестеры оценивают интенсивность цвета настоя, его оттенки и прозрачность, а также аромат, по которому судят о нежности букета (сочетания вкуса и аромата), его полноте и силе. Далее чай пробуют на вкус, причем настоей не пьют, а лишь слегка ополаскивают им рот. Во вкусе чая титестеры оценивают «тело» настоя (его экстрактивность), терпкость, характер, отсутствие горечи. В заключение титестеры проверяют «разварку» чая — внешний вид разваренного листа. После окончания опробования ощущения, испытанные при дегустации, обсуждаются всеми тремя титестерами, после чего тому или иному образцу чая присваивается оценка в баллах. Обычно если оценка одного титестера расходится с оценкой двух других, то сорт и категория устанавливаются по определению двух титестеров, дающих одинаковую оценку.

#### **4 Порядок выполнения работы**

4.1 Изучить методическое руководство к лабораторной работе.

4.2 Произвести подготовку и проведение анализа чая в последовательности, изложенной в разделе 3.3, заполняя последовательно таблицу 1 отчёта.

4.3 По результатам анализа, проведённого каждым титестером составить ранжированный ряд качества чая.

4.4 Подвести итоги, просуммировав данные всех титестеров и составив общий ранжированный ряд по сортам чая.

#### **5 Содержание отчёта**

5.1 Цель работы

5.2 Оборудование

5.3 Таблицы результатов анализа, заполненные в соответствии с критериями, приведенными в Приложении А

Таблица 1 – Результаты анализа качества чая титестером №...

Обозначение образца	Показатель качества					Сумма баллов
	Внешний вид	Интенсивность настоя	Аромат	Вкус	Цвет развара	
А						
Б						
В						
Г						
Д						

#### 5.4 Ранжированный ряд по мнению титестера №...

Таблица 2 – Общие результаты анализа качества чая

Номер титестера	Обозначение образца				
	А	Б	В	Г	Д
1					
2					
3					
4					
5					
Сумма баллов					

### Приложение А

#### Основные показатели качества чая и критерии их оценки.

##### 1 Внешний вид сухого чайного листа (уборка чая)

Внешний вид чая дает представление о том, из какого сырья выработана продукция, соблюдены ли технологические режимы, особенно в процессе скручивания и сортировки чая. Уборку чая определяют, рассыпая его на белой бумаге. Во время оценки внешнего вида чая главное внимание обращают на однородность массы, цвет чаинок, скрученность листьев, присутствие золотистого ободка, наличие грубых стеблей, волосков древесины, пыли и других посторонних примесей.

Чаи хорошей уборки состоят из однородных, хорошо скрученных чаинок, без примеси чаев других размеров и обладают соответствующим виду чая цветом, что указывает на правильную сортировку.

Наличие золотистого ободка указывает на приготовление чая из нежного сырья, который собран в период, когда на чайных листьях появляются почки с серебристыми волосками. При правильной переработке эти волоски (пушок) покрываются соком, выделившимся из клеток чайного листа, и в процессе сушки приобретают светло-золотистый цвет. Наличие в чае большого количества таких ободков указывает на высокие достоинства чая.

Присутствие в чае черешков (красных стеблей) или волосков древесины свидетельствует о том, что чай выработан из грубого сырья (сырья позднего сбора) и плохо отсортирован. Чем больше черешков или волосков древесины содержит чай, тем ниже его качество.

Отрицательно влияет на качество чая примесь нескрученных пластинок листа. При переработке грубого сырья третий лист чайного побега плохо скручивается, из его клеток с трудом выдавливается сок, поэтому

нескрученные пластинки чая содержат меньше экстрактивных веществ, что весьма отрицательно влияет на аромат и вкус чая.

Таблица А1 - Критерии оценки внешнего вида:

Наименование критерия	Баллы
Наличие светло-золотистого ободка	от 7 до 10
Присутствие черешков или волосков древесины	от 4 до 6
Наличие нескрученных пластинок	от 1 до 3

## 2 Цвет настоя чая

Цвет настоя определяют по его интенсивности и характеру окраски. Настоям чая, полученным из чайного листа, переработанного в нормальных условиях, должен быть прозрачный и яркий, а его характеристики быть не ниже заявленной категории чая. Определение цвета чая и интенсивности его настоя не являются основными оценочными признаками, но каждый сорт чая по роду листа должен иметь соответствующую ему интенсивность окраски. Интенсивность настоя оценивается в баллах и характеризуется такими определениями, как «очень крепкий», «крепкий», «вышесреднего», «средний», «ниже среднего», «слабоватый», «слабый».

Особо высокие требования потребители предъявляют к цвету настоя черного чая, справедливо считая, что чем интенсивнее окрашен настой, тем выше качество чая. Чаи, имеющие более яркий (интенсивный) настой и красный цвет определяются как лучшие по сравнению с более тусклыми коричневыми чаями или чаями, имеющими зеленоватый цвет. Темная (серовато-черная) или мутная окраска настоя свидетельствует о дефекте черного чая. Когда чай имеет настой более коричневатого цвета, это означает, что лист переферментирован. Темный (сероватого цвета) настой показывает, что процесс ферментации протекал чрезмерно продолжительное время. Чрезмерно светлый настой чая с зеленоватым оттенком указывает на недостаточную ферментацию и на то, что сырье переработано с большим опозданием.

Таблица А2 - Критерии оценки цвета настоя:

Наименование критерия	Баллы
«очень крепкий»,	10
«крепкий»	8...9
«выше среднего»	6...7
«средний»	4...5
«ниже среднего»	2...3
«слабоватый»	1
«слабый»	0

### 3 Аромат чая

При органолептическом анализе важное значение придаётся показателю аромата. Специфический аромат чая обуславливается содержанием в нем эфирных масел, претерпевающим в процессе ферментации при производстве чая глубоким изменениям. В результате образуются компоненты, которые придают чаю специфический аромат. Их гармоничность и определяет аромат чая.

Так как процесс ферментации характерен для производства черного и красного чая, именно они отличаются от других видов особым ароматом.

Для оценки аромата чая титестер сливает настой из чайника и, дав немного остынуть заварке, снимает крышку с чайника и определяет характер и силу аромата. Чаи хорошего качества имеют следующие характеристики аромата: «приятный», «сильный», «нежный», «розанистый», «медовый», «цветочный», «лимонный», «хлебный», «миндальный». Дефектами букета чая, его аромата и вкуса считаются «придымленность», «прижаристость», «кисловатость», а также запах зелени или травы, особенно с оттенками сырости и затхлости. Запах сырости и затхлости возникает, в основном, под действием микроорганизмов (бактерий) при хранении чая в условиях высокой влажности.

Таблица А3 - Критерии оценки аромата:

Наименование критерия	Баллы
«приятный»	8...10
«сильный»	7...9
«нежный»	6...8
«розанистый»	5...7
«медовый»	4...6
«цветочный»	3...5
«лимонный»	2...4
«хлебный»	1...3
«миндальный»	0...2
отсутствует	0

### 4 Вкус чая

Из всех показателей, определяющих качество чая, наиболее важную роль играет вкус, к свойствам которого предъявляют особые требования. Поэтому титестер с особым вниманием относится к определению этого достоинства чая.

По мнению специалистов, вкусность — это сложное ощущение, воспринимаемое при опробовании в результате воздействия импульсов запаха-вкуса-осязания. При определении вкуса чая дегустаторы

устанавливают степень терпкости и букета. Существует тесная связь между ароматом и вкусом. Чем больше нежных, хорошо скрученных листьев содержит чай, чем крепче (сильнее) его настой, чем больше цвет разваренного листа приближается к эталону данного вида чая (например, красновато-светло-медному цвету у черного чая), тем лучше аромат и вкусовые свойства чая.

Вкус чая титестеры определяют не глотая, лишь только ополаскивая им рот, обращая главное внимание на его вяжущие свойства и полноту. В зависимости от вяжущего действия настоя на слизистую оболочку рта и десен судят о терпкости чая. Титестеры отличают сильно терпкие чаи от менее терпких, порицают вкус горький, «плоский», «пустой». Горький вкус и отсутствие терпкости свидетельствует о низком качестве чая из-за его излишней ферментации. В хороших чаях наравне с терпкостью должна чувствоваться экстрактивность, или «тело» настоя, что в титестерской оценке определяется словом «полный», то есть достаточно интенсивный, крепкий и приятно-терпкий.

Таблица А4 - Критерии оценки вкуса:

Наименование критерия	Баллы
«полный»	7...10
«горький»	4...6
«плоский»	1...3
«пустой»	0

## 5 Цвет разваренного листа

Внешний вид разваренного листа (разварка чая) является достаточно объективным показателем качества ферментации. Он находится в прямой зависимости от интенсивности настоя, аромата и вкуса чая.

Разварка чая определяется после того, как настой сливается, а разваренный лист опрокидывается на крышку чайника и отжимается. У лучшего черного чая он имеет цвет новой медной монеты, другие оттенки разваренного листа (коричневый, зеленый, тусклый, темный и другие) указывают на нарушения технологии ферментации и характеризуют чаи более низкого качества. Так, например, коричневатый цвет указывает на то, что лист переферментирован, что особенно отрицательно сказывается на аромате чая, а темный (черноватый) цвет, который обычно получается при чрезмерной ферментации, считается дефектом. Разваренный лист недоферментированного чая всегда характеризуется зеленоватым цветом. Если разваренный лист содержит чайники светло-коричневого и зеленоватого цвета, это объясняется переработкой неоднородного сырья, так как при одинаковом технологическом режиме сырье различной неясности по-разному реагирует на технологические процессы при скручивании и ферментации. Если большая часть разваренного

листа хорошо ферментирована, имеет светло-коричневый цвет, но все же в незначительном количестве содержит чайники темного цвета, это нужно приписать неправильному составлению купажа.

Таблица А5 - Критерии оценки цвета разваренного листа:

Наименование критерия	Баллы
«золотисто-красный»	9...10
«коричневый»	7...8
«зелёный»	5...6
«тусклый»	3...4
«чёрный»	1...2
другие	2