

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
Санкт-Петербургский горный университет**

Кафедра метрологии и управления качеством

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 27.03.01*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2020**

УДК 006.9:631.171 (073)

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ. Методы и средства измерений неэлектрических величин: Методические указания к практическим занятиям / Санкт-Петербургский горный университет. Сост. *И.И. Сытько*. СПб, 2020. 22 с.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Методы и средства измерений и контроля» разработаны в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования.

Рассмотрен комплекс практических заданий в области применения методов и средств измерения температуры, геометрических и механических величин, расчета погрешностей измерений и выбора средств измерений.

Предназначены для студентов бакалавриата направления 27.03.01 «Стандартизация и метрология».

Научный редактор проф. *И.Е. Ушаков*

Рецензент канд. тех. наук *А.Е. Ивкин* (ООО «Константа»)

© Санкт-Петербургский
горный университет, 2020

ВВЕДЕНИЕ

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Методы и средства измерений и контроля» разработаны в соответствии с требованиями федерального государственного образовательного стандарта высшего образования и предназначены для студентов бакалавриата направления 27.03.01 – «Стандартизация и метрология» и изучаются в 5 и 6 семестрах.

Методические указания включают теоретическое введение, практические задания и указания к их выполнению и включают раздел дисциплины: «Методы и средства измерения неэлектрических величин».

В соответствии с учебным планом в 5 семестре предусмотрено 8 практических занятий (1 – 8) и 17 практических занятий в 6 семестре, 4 из которых (22 – 25), изложены в настоящем методическом указании. После выполнения практической части заданий студенты защищают свою работу, отвечая преподавателю на вопросы по теме занятия.

Целью практических занятий является закрепление и практическое использование знаний, полученных при изучении теоретического курса дисциплины «Методы и средства измерений и контроля». Уметь решать задачи, связанные с применением методов и средств измерения температуры, механических и геометрических величин, расчета погрешностей (неопределенности) измерений и основных параметров средств измерений, правильного выбора методов и средств измерений для конкретной измерительной задачи.

При выполнении практических заданий условие заданий переписываются полностью. Каждый расчет следует сопровождать необходимым пояснением, приведением необходимого расчетного выражения и полученных результатов вычислений.

Для самоконтроля знаний при подготовке к практическим занятиям после каждого практического занятия приведены контрольные вопросы, на которые студентам необходимо ответить.

Практическое занятие №22. Расчет параметров тензодатчика для средств измерений неэлектрических величин

Цель занятия – изучить принцип работы тензодатчиков и при измерении неэлектрических величин, научиться рассчитывать их основные параметры.

Основные теоретические положения

Действие проводниковых и полупроводниковых тензодатчиков основано на изменении их омического сопротивления при упругих деформациях [1, 4, 6]. Различают наклеиваемые и ненаклеиваемые тензодатчики.

Наклеиваемые тензодатчики применяются чаще и представляют собой эластичные изоляционные пластинки 2, внутри которых заделан чувствительный элемент 1 (рис.22.1), а исследуемая конструкция, на которую наклеивается датчик, представлена на рис.22.2.

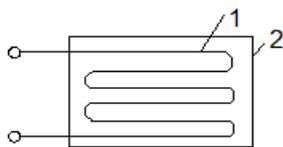


Рис.22.1. Схема наклеиваемого тензодатчика

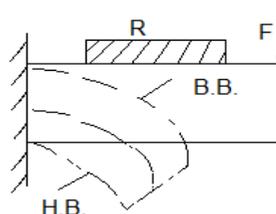


Рис.22.2. Датчик и исследуемая конструкция

При деформации датчика под действием внешней силы F верхние волокна бруска (В. В.) растягиваются, при этом изменяется длина проволочки и сопротивление датчика, которое связано зависимостью

$$R = \rho \frac{L}{S}, \quad (22.1)$$

где R – сопротивление проволочки;

L – длина проволочки;

S – площадь поперечного сечения;

ρ – удельное сопротивление материала проволочки.

Материалы проволочек и их параметры приведены в табл.22.1.

Таблица 22.1

Материал	Состав в %	Коэффициент чувствительности, К	Удельное сопротивление, ρ (Ом·мм ² /м)
Константан	60 % Cu, 40 % Ni	2,0	0,48
Коппель	55 % Cu, 45 % Ni	2,4	0,48
Манганин	84 % Cu, 12%Mn, 4 % Ni	1,9	0,44
Нихром	80 % Ni, 20 % Cr	2,2	1,1
Элинвар	55 % Fe, 36 %Ni, 8 % Cr, 1 % Mn	3,8	0,84
Сплав 479	92 % Pt, 8 % W	4,0	0,11

Коэффициент тензочувствительности определяется по формуле

$$K = \frac{E}{\sigma} \cdot \frac{\Delta R}{R}, \quad (22.2)$$

где E – модуль упругости материала проволочки;

σ – механическое напряжение в материале;

R – сопротивление проводника;

ΔR – изменение сопротивления при деформации.

Как правило, тензодатчики включают в мостовую схему (рис.22.3).

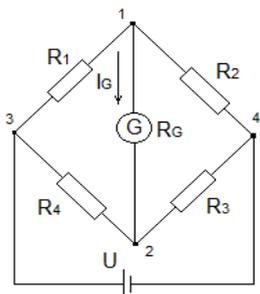


Рис.22.3. Схема одинарного моста

R_1, R_2, R_3, R_4 – сопротивление плеч моста. Вместо одного из них (допустим это будет R_1) можно подключить тензодатчик (если на конструкцию приклеен один тензодатчик).

Условие равновесия моста

$$R_1 \cdot R_3 = R_2 \cdot R_4. \quad (22.3)$$

Ток в диагонали 1-2, протекающий через измерительный прибор G определяется выражением

$$I_G = \frac{U(R_1 \cdot R_3 - R_2 \cdot R_4)}{[R_G(R_1 + R_2) \cdot (R_3 + R_4) + R_1 R_2 (R_3 + R_4) + R_3 R_4 (R_1 + R_2)]}, \quad (22.4)$$

где U – напряжение питания моста;

R_G – внутреннее сопротивление измерительного прибора G ;

Задание 1. Образец прямоугольного сечения ($a \times b$) (рис.22.4) из стали, имеющий модуль упругости $E = 2 \cdot 10^5$ МПа, растягивается силой F .

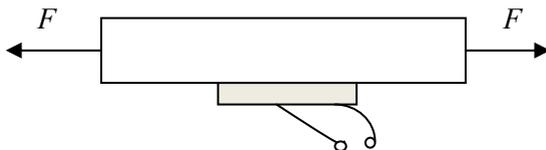


Рис.22.4. Тензодатчик, наклеенный на образец прямоугольного сечения из стали

Механическое напряжение в поперечном сечении образца определяют по формуле $\sigma = F / (a \times b)$. На образец наклеен тензодатчик, включенный в мост (рис.22.3) вместо сопротивления R_1 . Материал проволоки тензодатчика указан в табл.22.2, а параметры материала проволоки в табл.22.1. Сопротивление измерительного прибора (гальванометра) $R_G = 100$ Ом, сопротивление тензодатчика 560 Ом, напряжения источника питания 12 В.

Определить ток в диагонали моста I_G и построить зависимость тока от силы F по девяти точкам, варьируя силу в диапазоне

$\pm 40\%$ от заданного. Данные для расчета измерительной схемы приведены в табл.22.2, которые студент выбирает по последней цифре собственного шифра.

Таблица 22.2

Последняя цифра шифра	Сила F , кН	Значение сопротивления плеч моста, Ом			Материал проволоки	Размеры сечения, мм	
		R_2	R_3	R_4		a	b
0	5	250	100	400	Константан	8	8
1	7	300	200	450	Коппель	9	10
2 – 3	8	350	300	500	Манганин	10	12
4 – 5	14	450	500	600	Нихром	12	16
6 – 7	16	500	600	650	Элинвар	8	18
8 – 9	20	600	800	750	Сплав 479	8	14

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Поясните принцип действия тензодатчиков.
2. Перечислите основные материалы и их параметры из которых изготавливаются тензодатчики.
3. Поясните физический смысл коэффициента тензочувствительности.
4. Перечислите измерительные приборы в которых используются тензодатчики.

Практическое занятие №23. Расчет параметров термопары для средств измерения температуры

Цель занятия – изучить принцип работы термопары при измерении температуры, научиться рассчитывать их основные параметры.

Основные теоретические положения

Рассмотрим методы измерения температуры. Измерять температуру можно только косвенным путем, основываясь на зависимости от температуры таких физических свойств тел, которые поддаются непосредственному измерению (длина, объем, плотность, термоЭДС, электрическое сопротивление и т.д.). Средства измерения температуры называются термометрами [4, 5, 6].

При измерении температур в широком диапазоне часто применяются термопары (термоэлектрические преобразователи температуры в термоЭДС).

Термопара – это электрическая цепь из двух термоэлектродов (специально подобранных в пару). При нарушении равенства температур вместе электрического контакта (спаев) в цепи термоэлектродов возникает термоэлектродвижущая сила (эффект Зеебека).

Эффект Зеебека – явление возникновения ЭДС в электрической цепи, состоящей из последовательно соединённых разнородных проводников, контакты между которыми находятся при различных температурах.

В небольшом интервале температур термоЭДС E можно считать пропорциональной разности температур $E = \alpha_{12} \cdot (T_2 - T_1)$, где α_{12} – термоэлектрическая способность пары (или коэффициент термоЭДС). В простейшем случае коэффициент термоЭДС определяется только материалами проводников.

На рис. 23.1 изображена термопара, один электрический контакт, которой находится при температуре t_1 , а другой электрический контакт, образованный цепью милливольтметра, при температуре t_2 .

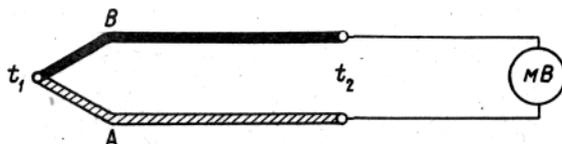


Рис. 23.1. Схема термопара

В общем случае наличие термоЭДС можно объяснить перемещением носителей зарядов из одного электрода в другой под действием контактной разности потенциалов (разности «давлений» носителей зарядов), величина которой зависит от температуры электрического контакта (спаев).

К недостаткам термопар следует отнести необходимость применения автоматической линеаризации характеристик преобразования, а для обеспечения однозначной зависимости термоЭДС термопары от температуры окружающей среды необходимо под-

держивать постоянной и известной температуру свободных «холодных» концов термопары.

Для поддержания температуры свободных «холодных» концов термопары применяются устройства автоматической компенсации влияния температуры окружающей среды на свободные «холодные» концы термопары. Результирующую термоЭДС можно повысить путем последовательного объединения несколько термопар в термобатарею.

Большое распространение в настоящее время получили автоматические потенциометры, позволяющие контролировать и регулировать температуру.

Измерение температуры с помощью термопреобразователей сопротивления основано на свойстве металлов и полупроводников, изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Медные и платиновые термопреобразователи имеют линейную функцию преобразования температуры в сопротивление, что является их достоинством.

При необходимости измерений больших температур используются оптические пирометры [5, 6, 7]. Принцип их действия основан на сравнении спектральной яркости тела со спектральной яркостью источника излучения. Поэтому при измерении больших температур применяют бесконтактные методы измерения температуры, когда невозможно, сложно или опасно обеспечить механический контакт датчика с объектом измерения.

Задание 1. Определить температуру рабочего спая термопары хромель-алюмель для измерительной цепи (рис.23.2). Известно, что измерительный прибор показывает величину термоЭДС $E=23,52$ мВ, температура $t_1=t_2=70$ °С, $t_0=28$ °С, $t_n=18$ °С.

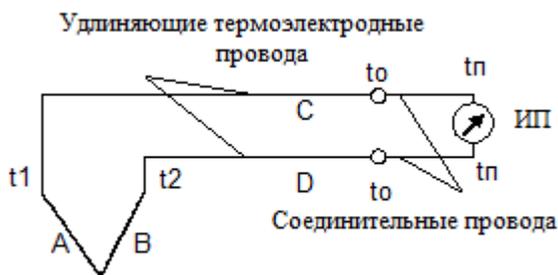


Рис.23.2. Схема подключения термопары к измерительному прибору

Градуировочная характеристика для термопары хромель-алюмель приведена в табл.23.1.

Таблица 23.1

Температура, °C	Термоэлектродвижущая сила, мВ				
	0	2	4	6	8
10	0,397	0,447	0,557	0,637	0,718
20	0,798	0,879	0,960	1,041	1,122
50	2,022	2,146	2,229	2,270	2,353
80	3,266	3,349	3,432	3,515	3,598
100	4,095	4,178	4,261	4,343	4,426
550	22,772	22,857	22,942	23,028	23,070
590	24,476	24,561	24,646	24,731	24,817
600	24,902	24,987	25,072	25,157	25,242

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Что означает слово «температура» в переводе с латинского.
2. Перечислите основные единицы температуры.
3. Перечислите основные температурные шкалы и их характеристики.
4. Дайте классификацию термометров по термометрическому свойству.
5. Поясните общее устройство термопара.
6. Поясните эффект Зеебека.
7. Поясните назначение оптических пирометров.

Практическое занятие №24. Выбор средств измерений геометрических величин для контроля линейных размеров деталей

Цель занятия – изучить основные метрологические характеристики средств измерения геометрических величин, устройство и принцип работы, порядок выбора для контроля линейных размеров деталей.

Основные теоретические положения

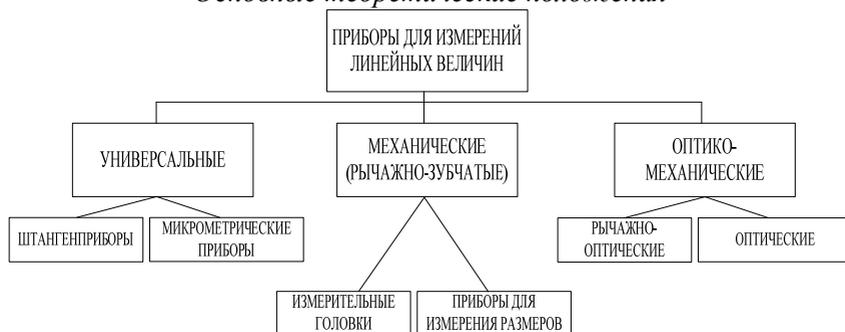


Рис. 24.1. Классификация приборов для измерения линейных размеров

К штангенприборам относятся: штангенциркули; штангенглубиномеры; штангенрейсмасы.

Штангенциркули предназначены для измерения наружных и внутренних размеров до 2000 мм, а глубин – до 125 мм (диапазон измерений 0 – 125; 0 – 135; 0 – 150; 0 – 160; 0 – 200; ...; 0 – 500; 250 – 630; 250 – 800; ...; 800 – 2000 мм). Их изготавливают следующих типов:

- тип I – двусторонние с глубиномером (для наружных и внутренних измерений);
- тип T-I – односторонние с глубиномером с измерительными поверхностями из твердых сплавов;
- тип II – двусторонние (для внутренних и наружных измерений, а также для разметки);
- тип III – односторонние (для внутренних и наружных измерений).

Штангенциркули (ГОСТ 166-89) изготавливают:

- с отсчетом по нониусу – ШЦ ($c = 0,1$ мм, $c = 0,05$ мм);
- с отсчетом по круговой шкале – ШЦК ($c = 0,1$ мм, $c = 0,02$ мм, $c = 0,05$ мм);
- с цифровым отсчетным устройством – ШЦЦ ($c = 0,01$ мм).

Штангенциркули со значением отсчета 0,1 мм с верхним пределом измерений до 400 мм выпускают 1 и 2 классов точности, более 400 мм – только 1 класса. Для остальных штангенциркулей классы не устанавливаются.

Условные обозначения штангенциркулей:

- штангенциркуль ШЦ-II-250-0,05 ГОСТ 166-89;
- штангенциркуль ШЦ-II-250-630-0,1-1 ГОСТ 166-89;
- штангенциркуль ШЦК-I-150-0,02 ГОСТ 166-89;
- штангенциркуль ШЦЦ-I-125-0,01 ГОСТ 166-89.

Штангенглубиномеры (ШГ) предназначены для измерения глубин, впадин, уступов или глухих отверстий до 1000 мм.

Согласно ГОСТ 162-90 штангенглубиномеры изготавливают с отсчетом по нониусу ($c = 0,05$ мм, $c = 0,1$ мм). Диапазон измерений: 0 – 160... 0 – 1000 мм.

Условное обозначение: штангенглубиномер ШГ-200-0,05 ГОСТ 162-90.

Штангенрейсмасы (ШР) предназначены для разметочных работ и измерения размеров (высоты) деталей до 2500 мм.

Согласно ГОСТ 164-90 штангенрейсмасы изготавливают с отсчетом по нониусу ($c = 0,1$ мм, $c = 0,05$ мм).

Диапазоны измерений:

- 0 – 250; 40 – 400; 60 – 630; 100 – 1000 ($c = 0,05$ мм);
- 60 – 630; 100 – 1000; 600 – 1600;
- 1500 – 2500 мм ($c = 0,1$ мм).

Условное обозначение: штангенрейсмас ШР-250-0,05 ГОСТ 164-90.

К микрометрическим приборам относятся: микрометры, микрометрические глубиномеры и микрометрические нутромеры.

Микрометры по ГОСТ 6507-90 изготавливают следующих типов:

1. МК – гладкие для измерения наружных размеров изделий (0 – 25; 25 – 50; 50 – 75; ...; 300 – 400; 400 – 500; 500 – 600 мм).

Изготавливают с ценой деления 0,01 мм – при отсчете показаний по шкалам стебля и барабана (МК), со значением отсчета по нониусу 0,001 мм – при отсчете показаний по шкалам стебля и барабана с нониусом (МКН), с шагом дискретности 0,001 мм – при отсчете показаний по электронному цифровому отсчетному устройству (МКЦ).

2. МЛ – листовые с циферблатом для измерения толщины листов и лент (0 – 5; 0 – 10; 0 – 25 мм).

3. МТ – трубные для измерения толщины стенок труб (0 – 25 мм).

4. МЗ – зубомерные для контроля длины общей нормали зубчатых колес (0 – 25; 25 – 50; 50 – 75; 75 – 100 мм).

5. МГ – микрометрические головки для измерения перемещений (0 – 15; 0 – 25; 0 – 50 мм).

6. МП – микрометры для измерения толщины проволоки (0 – 10 мм).

Микрометры типов МЛ, МТ, МЗ, МГ, МП изготавливают с отсчетом по шкалам стебля и барабана ($c = 0,01$ мм).

Микрометрические нутромеры предназначены для измерения внутренних размеров деталей ($c = 0,01$ мм). Минимальный диапазон измерений: 50 – 75 мм, максимальный: 4000 – 10000 мм.

Микрометрические глубиномеры служат для измерения глубин пазов, отверстий и высот выступов ($c = 0,01$ мм). Диапазоны измерений: (0 – 25; 25 – 50; 50 – 75; 75 – 100; 100 – 125; 125 – 1) мм.

Рычажно-зубчатые измерительные приборы в основном служат для относительных измерений и предназначены для определения отклонений формы и расположения поверхностей (измерительные головки), а также для измерения размеров (рычажные скобы, рычажные микрометры, индикаторные скобы, индикаторные нутромеры и т.д.).

Измерительные головки предназначены для определения отклонений формы и расположения поверхностей, измерения размеров и малых перемещений.

В зависимости от типа передачи, используемой для преобразования возвратно-поступательного перемещения измерительно-

го стержня в угловое вращение стрелки, измерительные головки подразделяются: рычажные (не выпускаются); зубчатые; рычажно-зубчатые; рычажно-пружинные (пружинные).

Задание 1. Правильно выбрать средство измерений для линейных размеров валов, а также определить их годность по результатам измерений. Если брак, то указать какой (исправимый или неисправимый).

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл.24.1.

Таблица 24.1

Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$110_{-0,075}^{-0,040}$	$105_{-0,023}^0$	$125_{+0,004}^{+0,030}$	$125_{-0,012}^{+0,012}$	$85_{+0,19}^{+0,26}$
Действительный размер, мм	99,958	105,002	125,005	125,009	85,20
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$24_{-0,14}^0$	$75_{-0,030}^{-0,010}$	$36_{+0,06}^{+0,11}$	$95_{-0,46}^0$	$315_{-1}^{-0,34}$
Действительный размер, мм	23,98	74,87	36,07	95,00	314,47

Указания

Выбор средств измерения для контроля линейных размеров деталей проводится в следующей последовательности:

- определить поле допуска вала по формуле $Td = es - ei$;
- предельные размеры вала по формулам $d_{\max} = d_{\text{ном}} + es$,

$$d_{\min} = d_{\text{ном}} + ei ;$$

- погрешность средства измерений по формуле

$$0,2 \cdot Td = \Delta_{u \min} \leq \Delta_{cu} \leq 0,32 \cdot Td = \Delta_{u \max} .$$

Если данное условие выполняется, то средство измерения выбрано правильно и обеспечивает требуемую достоверность контроля линейных размеров деталей. В противном случае нет.

По результатам измерения деталей принимается одно из трех решений:

1. $d_{\min} \leq d_u \leq d_{\max}$ (6) – вал-годен.

2. $d_{\min} > d_u \leq d_{\max}$ (7) – вал-брак (неисправимый).

3. $d_{\min} \leq d_u > d_{\max}$ (8) – вал-брак (исправимый).

Результаты измерений и расчетов сводятся в таблицу, которая выдается преподавателем.

Задание 2. Правильно выбрать средство измерений для измерений линейных размеров отверстий, а также определить их годность по результатам измерений. Если брак, то указать какой (исправимый или неисправимый).

Исходные данные для выполнения задания приведены в табл.24.2.

Таблица 24.2

Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$2_0^{+0,12}$	$70_{-0,03}^0$	$85_0^{+0,07}$	$220_{-0,060}^{-0,015}$	$105_{+0,04}^{+0,09}$
Действительный размер, мм	1,95	70,002	84,99	219,980	105,04
Номинальные размеры и предельные отклонения, мм	$40_0^{+0,060}$	$4_{-0,004}^{+0,009}$	$8_{-0,020}^{-0,004}$	$180_{-0,04}^0$	$160_{-0,014}^{+0,027}$
Действительный размер, мм	40,038	3,996	7,965	180,02	159,981

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте классификацию приборов для измерения линейных размеров.

2. Перечислите основные метрологические характеристики штангенциркулей.

3. Как правильно выбрать штангенциркуль для измерений линейных размеров валов.

4. Как определить предельные размеры вала 110_{-75}^{-40} .

5. Как определить брак исправимый или неисправимый вала (отверстия).

Практическое занятие №25. Расчет характеристик весоизмерительных приборов

Цель занятия – изучить основные метрологические свойства весов, устройство и принцип работы, производить основные расчеты в области измерения массы.

Основные теоретические положения

Весы могут быть классифицированы по различным признакам:

- по назначению; по устройству (по принципу уравновешиваемого тела); по принципу действия (процессу взвешивания); по классам точности; по форме грузоприемных устройств; по предельной нагрузке.

По назначению весы можно разделить на пять основных групп:

- общего назначения (применяемые в торговле, складском хозяйстве, при производстве технических и химических анализов, например, обыкновенные весы для нагрузок до 20 кг, настольные циферблатные, платформенные передвижные неравноплечие передвижные до 3 т и стационарные неравноплечие весы (автомобильные, вагонеточные и вагонные);

- технологические (примером могут служить автоматические конвейерные порционные весы для взвешивания сыпучих материалов, весы автоматические для ядохимикатов, муки, удобрений, вагон-весы и т.д.);

- лабораторные (примером могут служить весы аналитической группы, весы электронные, весы технические);

- метрологические (служащие для обеспечения передачи единицы массы от эталона рабочим мерам, а также при проведении сличений друг с другом);

- для специальных измерений (примером могут служить весы для определения удельного веса жидкостей или твердых тел, содержания влаги, определения крутящего момента двигателей).

По устройству или характеру уравновешивания взвешиваемого тела весы можно разделить на следующие группы:

- рычажные (например, настольные обыкновенные, настольные циферблатные, автомобильные, весы аналитические);

- пружинные (чувствительным элементом таких весов является или спиральная пружина, работающая на изгиб (закручивание), или винтовая пружина, работающая на растяжение);

- гидравлические (весы, в которых давление взвешиваемого тела уравнивается сопротивлением сжатия рабочей жидкости);

- электрические (весы, в которых момент механической силы уравнивается или моментом электромагнитной силы или моментом электростатической силы, либо весы, в которых используется электротензометрический принцип работы. Например, ампер-весы, электротензометрические весы, встроенные в автомобиль).

К основным метрологическим свойствам (характеристикам) весов относятся: устойчивость; правильность или верность; чувствительность; постоянство или неизменность показаний [1, 2].

Весы, несмотря на многообразие, состоят из общих узлов и деталей, присущих каждому типу. Весы состоят из следующих основных и вспомогательных узлов и деталей: основания; коромысла в сборе или рычажной системы; грузоприемного устройства; отсчетного устройства; приспособления для остановки колебаний коромысла и чашек (арретира) и приспособления для отделения лезвий призм от подушек (изолира); успокоителя; тарировочного приспособления; приспособления для механического накладывания гирь.

Гири как меры массы классифицируются в зависимости от назначения и по точности воспроизведения значения массы. В зависимости от назначения гири делятся на эталоны и рабочие.

Гири обладают известной, ранее установленной массой и в зависимости от назначения имеют определенную форму. Наиболее употребительные формы гирь: прямой цилиндр с головкой или прямой цилиндр с дужкой; усеченный конус с головкой и пластинка различной формы.

По своему устройству гири разделяются на гири цельные и гири с внутренней полостью. Цельные гири являются наиболее совершенным видом гирь, так как наличие полости, служащей для

подгонки массы гири, является источником непостоянства массы гири в результате окисления подгоночного материала или оседания в полости влажных паров.

Для удобства пользования гири комплектуются в наборы. В условных обозначениях наборов гирь буквы означают единицу массы (КГ – килограмм, Г – грамм, МГ – миллиграмм), первое число после буквы – класс точности гирь, второе число – массу гирь в наборе, третье число в миллиграммовых наборах гирь – массу наименьшей гири.

Задание 1. Определить приведенную массу гири, если плотность эталонной гири из нержавеющей стали равна 7880 кг/м^3 , а плотность материала приведенной гири 8000 кг/м^3 . Стандартная плотность воздуха $1,2 \text{ кг/м}^3$.

Для условия равенства уравнение равновесия стальной гири с гирей приведенной массы в воздухе можно написать в виде

$$M_{cm} \left(1 - \frac{1,2}{7880}\right) = M_{np} \left(1 - \frac{1,2}{8000}\right), \quad (25.1)$$

где M_{cm} и M_{np} – соответственно массы стальной и приведенной гирь.

Для выполнения задания, студент выбирает исходные данные из табл.25.1 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 25.1

Данные	Последняя цифра шифра			
	0 – 2	2 – 4	5 – 7	8 – 9
Масса m_{e1} , Г	200,12	100,18	400,28	800,62
Масса m_{e2} , Г	200,03	100,06	400,04	800,24

Задание 2. Определить массу груза m_e методом двойного взвешивания, если при первом взвешивании масса груза составила m_{e1} , а при втором взвешивании m_{e2} .

Для выполнения задания, студент выбирает исходные данные из табл.25.2 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 25.2

Данные	Последняя цифра шифра			
	0 – 2	2 – 4	5 – 7	8 – 9
Масса эталонной гири m_3 , г	100,00021	100,00015	100,00028	100,00035

Указания

Метод двойного взвешивания, или метод Гаусса, наиболее точен. Идея его заключается в том, что если взвешиваемый груз M положить на одну чашу весов и уравновесить его гирями массой m_1 , то между ними будет иметь место соотношение

$$M \cdot l_1 = m_1 \cdot l_2, \quad (25.2)$$

где l_1 и l_2 – плечи весов, в общем случае не равные друг другу.

Если теперь взвешиваемый груз и гири поменять местами, то равновесие нарушится и для его достижения придется изменить массу гирь до значения m_2 . Условие равновесия примет вид

$$m_2 \cdot l_1 = M \cdot l_2 \quad (25.3)$$

Разделив равенство (25.2) почленно на равенство (25.3), получим

$$M = \sqrt{m_1 \cdot m_2}, \quad (25.4)$$

которое является результатом, свободным от погрешности, связанной с неравноплечем весов.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте классификацию весов по назначению и устройству.
2. Перечислите основные метрологические свойства весов.
3. Перечислите основные и вспомогательные узлы и детали весов.
4. Перечислите наиболее употребительные формы гирь.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях приводятся 4 практических занятия, которые построены по алгоритму: тема и цель занятия; основные теоретические положения, включая справочный материал; 2 – 3 практических задания и указания к их выполнению; контрольные вопросы, необходимые для самопроверки студентов при подготовке к занятию.

Для понимания основных вопросов, связанных с устройством и принципом действия средств измерений, студентам необходимо знать основные положения лекционного материала, а также ряда ранее изученных общепрофессиональных дисциплин.

Методические указания «Методы и средства измерений и контроля: Методы и средства измерений неэлектрических величин» позволит студентам определить роль и место курса в процессе метрологического обслуживания производства, правильно выбирать и применять средства измерений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 8.009-84. ГСИ. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений. – М.: Изд-во стандартов, 2001. 25 с.
2. *Дивин А.Г.* Методы и средства измерений, испытаний и контроля [Электронный ресурс]: учебное пособие: в 5 частях. Ч.1 /*А.Г. Дивин, С.В. Пономарев.* – Тамбов: Издательство ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. 104 с. Режим доступа: http://biblioclub.ru/index.php?page=book_view_red&book_id=277964. – Загл. с экрана.
3. *Дубов Г.М.* Методы и средства измерений, испытаний и контроля [Электронный ресурс]: учеб. пособие/*Г.М. Дубов, Д.М. Дубинкин.* – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2011. 224 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/6659>. – Загл. с экрана.
4. *Захарова А.Г.* Электрические измерения неэлектрических величин [Электронный ресурс]: учеб. пособие – Электрон. дан. – Кемерово: КузГТУ имени Т.Ф. Горбачева, 2009. 151 с. Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/6635>. – Загл. с экрана.
5. *Куликовский К.Л.* Методы и средства измерений: учебное пособие для вузов/*К.Л. Куликовский, В.Я. Купер.* – М.: Энергоатомиздат, 1986. 448 с.
6. *Медякова Э.И.* Методы, средства и автоматизация измерений: учеб. пособие /*Э.И. Медякова.* – СПб.: Изд-во СЗТУ, 2009. 68 с.
7. *Тартаковский Д.Ф.* Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учеб. для вузов/*Д.Ф. Тартаковский, А.С. Ястребов.* – М.: Высш. шк., 2002. 205 с.
8. *Шишкин И.Ф.* Теоретическая метрология: учеб. для вузов/*И.Ф. Шишкин.* – М.: Изд-во стандартов, 1991. 492 с.

Содержание

Введение.....	3
Практические занятия.....	4
Практическое занятие № 22. Расчет параметров тен- зодатчика для СИ неэлектрических величин	4
Практическое занятие № 23. Расчет параметров тер- момпары для СИ температуры	7
Практическое занятие № 24. Выбор средств измерений геометрических величин для контроля линейных размеров деталей.....	11
Практическое занятие № 25. Расчет характеристик весоизмерительных приборов.....	16
Заключение.....	20
Библиографический список.....	21

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ИЗМЕРЕНИЙ И КОНТРОЛЯ**
**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ
НЕЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН**

*Методические указания к практическим занятиям
для студентов бакалавриата направления 27.03.01*

Сост. *И.И. Сутько*

Печатается с оригинал-макета, подготовленного кафедрой
метрологии и управления качеством

Ответственный за выпуск *И.И. Сутько*

Лицензия ИД № 06517 от 09.01.2002

Подписано к печати 29.01.2020. Формат 60×84/16.
Усл. печ. л. 1,3. Усл.кр.-отт. 1,3. Уч.-изд.л. 1,1. Тираж 75 экз. Заказ 48. С 15.

Санкт-Петербургский горный университет
РИЦ Санкт-Петербургского горного университета
Адрес университета и РИЦ: 199106 Санкт-Петербург, 21-я линия, 2