

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Московский государственный машиностроительный университет «МАМИ»

Кафедра «Автомобили и тракторы»

**Одобрено методической комиссией
факультета АТ**

**П.А. Красавин
А.И. Сергеев
А.С. Шевелев**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**к лабораторным работам по дисциплинам
«Испытания автомобиля» и «Испытания тракторов
и транспортно-тяговых машин»
для студентов, обучающихся по специальности
«Автомобиле- и тракторостроение»**

**Под общей редакцией
Засл. деятеля науки РФ, д-ра техн. наук, проф.
В.М. Шарипова**

Москва 2012

УДК 629.113.001.4 (076.8); 629.114.2.001.2 (075.8)

Красавин П.А., Сергеев А.И., Шевелев А.С.

Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Испытания автомобиля» и «Испытания тракторов и транспортно-тяговых машин»/ Под общ. ред. В.М. Шарипова. – М.: Университет машиностроения, 2012. – 32 с.

В методических указаниях изложена последовательность выполнения лабораторных работ с предписанием правил техники безопасности на каждом рабочем месте.

Указания предназначены для студентов, изучающих дисциплины «Испытания автомобиля» и «Испытания тракторов и транспортно-тяговых машин».

© Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ), 2012.

Рецензенты: директор автомобильного института Университета машиностроения, к.т.н., профессор А.П. Маринкин, зав отделом ходовых систем тракторов ОАО «НИИ Стали», к.т.н., с.н.с. В.Я. Бейненсон

Павел Александрович Красавин, к.т.н., доц.,

Александр Иванович Сергеев, к.т.н., доц.,

Александр Сергеевич Шевелев, доц.

Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Испытания автомобиля» и «Испытания тракторов и транспортно-тяговых машин».

Подписано в печать

Заказ

Тираж 100

Усл. п. л. 2,06

Уч.- изд. л. 2,36

Бумага типографская. Формат 60х90/16

Университет машиностроения, Москва, 107023 Б. Семеновская, 38

СОДЕРЖАНИЕ

1. Лабораторная работа № 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР	4
1.1. Цель работы	4
1.2. Задачи лабораторной работы	4
1.3. Теоретическая часть	4
1.4. Описание лабораторной установки, применяемых датчиков и приборов	6
1.5. Порядок выполнения работы	9
1.6. Содержание отчета	11
1.7. Контрольные вопросы	11
2. Лабораторная работа № 2. ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫХ ДАТЧИКОВ	12
2.1. Цель работы	12
2.2. Задачи лабораторной работы	12
2.3. Теоретическая часть	12
2.4. Описание лабораторной установки, применяемых датчиков и приборов	19
2.5. Техника безопасности	19
2.6. Порядок выполнения работы	19
2.7. Содержание отчета	22
2.8. Контрольные вопросы	22
3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСС ТРАКТОРА	24
3.1. Цель работы	24
3.2. Задачи лабораторной работы	24
3.3. Описание лабораторной установки, приборов и оборудования	24
3.4. Техника безопасности	26
3.5. Порядок выполнения работы	26
3.6. Содержание отчета	32
3.7. Контрольные вопросы	32
Список литературы	32

Лабораторная работа №1

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И ПОСТРОЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТЕРМОПАР

1.1. Цель работы

Изучить принцип действия термоэлектрических преобразователей (термопар).

1.2. Задачи лабораторной работы

1. Ознакомится с конструкцией термопар и их основными характеристиками.
2. Ознакомится с описанием лабораторной установки и составить структурную и функциональную схемы.
3. Ознакомится с измерительным комплексом и его основными техническими характеристиками.
4. Экспериментально построить характеристики исследуемых термопар.
5. Определить погрешности измерений.

1.3. Теоретическая часть

Основной характеристикой термопары является её чувствительность. В общем случае чувствительность датчика или прибора определяется как предел отношения приращений выходной величины к приращению входной величины, когда последнее стремится к нулю:

$$S = \lim_{\Delta x \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta y}{\Delta x} \right) = \frac{dy}{dx} = \frac{m_y}{m_x} \operatorname{tg} \theta, \quad (1.1)$$

где θ – угол наклона касательной к характеристике; m_x и m_y – масштабы графика по осям x и y .

Для определения чувствительности исследуемой термопары составим функциональную (рис. 1.1) и структурную (рис. 1.2) схемы.

Схемы на рис. 1.1 и рис. 1.2 включают в себя: термопару 1, преобразующую измеряемую температуру θ в ЭДС – e ; электрическую цепь 2, преобразующая ЭДС в силу тока I ; магнитоэлектрический преобразователь 3, преобразующий силу тока во вращающий момент $M_{вр.}$; упругую подвижную систему, преобразующую вращающий момент $M_{вр.}$ в угловое перемещение φ , который является выходным параметром.

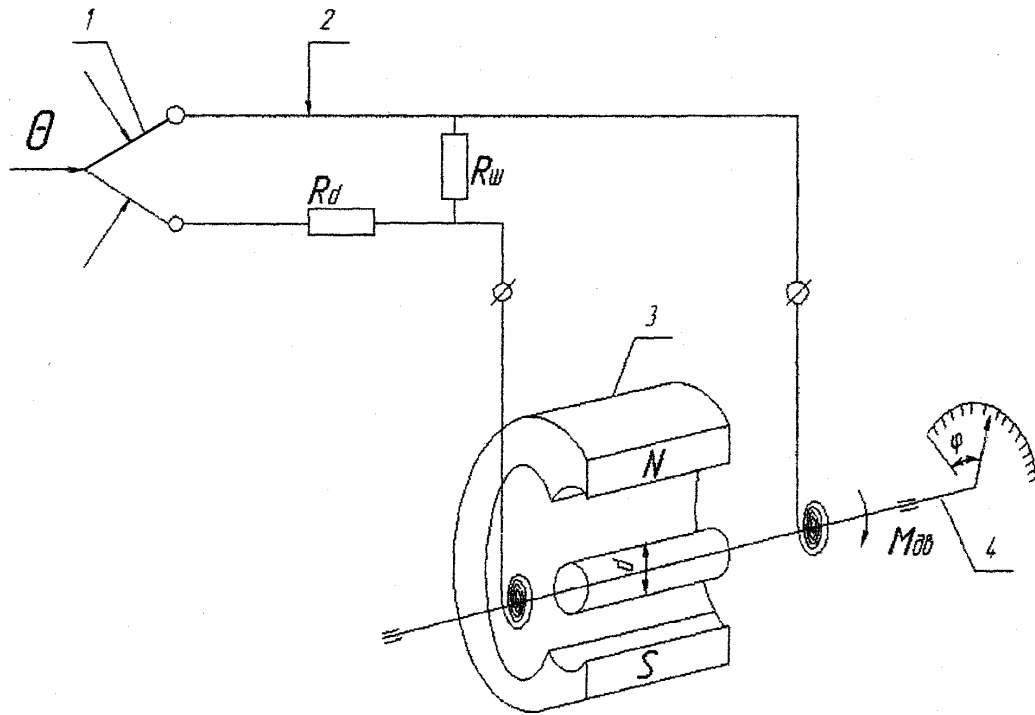


Рис. 1.1. Функциональная схема установки определения характеристики термопары

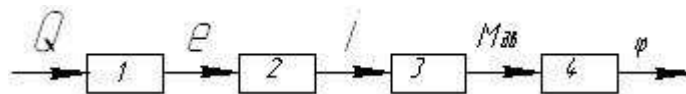


Рис. 1.2. Структурная схема установки определения характеристики термопары

Для определения чувствительности S изучаемой схемы запишем уравнения представляющие законы работы каждого звена системы. Для первого звена ЭДС термопары, возникающая в процессе нагрева исследуемой жидкости (воды) будет равна:

$$e = a_1 \theta + a_2 \theta^2, \quad (1.2)$$

где a_1, a_2 - постоянные коэффициенты, определяемые материалами термопары.

Величина тока в электрической цепи в соответствии с законом Ампера

$$i = \frac{R_u}{R_a R_u + R_o r + R_u r} e, \quad (1.3)$$

где R_u - электрическое сопротивление материала; R_o - добавочное сопротивление и сопротивление рамки гальванометра.

Величина вращающего момента $M_{вр.}$ равна:

$$M_{вр.} = BF \omega, \quad (1.4)$$

где B - магнитная индукция; F - активная площадь рамки; ω – число витков в рамке.

Угол поворота рамки милливольтметра

$$\varphi = \frac{6lBF\omega(a_1\theta + a_2\theta^2)}{bh^3E(R_\partial R_u + R_\partial r + R_u r)} \quad (1.5)$$

Чувствительность звеньев измерительной системы в соответствии со структурной схемой рис. 1.2. имеет вид:

$$\begin{aligned} S_1 &= \frac{dl}{d\theta} = a_1 + 2a_2\theta; \\ S_2 &= \frac{dI}{de} = \frac{R_u}{R_\partial R_u + R_\partial r + R_u r}; \\ S_3 &= \frac{dM}{dI} = BF\omega; \\ S_4 &= \frac{d\varphi}{dM} = \frac{6l}{Bh^3E}; \\ S &= S_1 \cdot S_2 \cdot S_3 \cdot S_4 = \prod_{i=1}^4 S_i = \frac{(a_1 + 2a_2\theta)BF\omega 6lR_u}{(R_\partial R_u + R_\partial r + R_u r)bh^3E}. \end{aligned} \quad (1.6)$$

Из выражений (1.6) видно, что чувствительность схемы измерения температуры θ пропорциональна произведению чувствительности каждого звена.

Передаточная функция теплочувствительного элемента (если считать θ входной величиной, e - выходной величиной) имеет вид:

$$W(p) = \frac{e(p)}{\theta(p)} = \frac{S_m}{T_1 p + 1}, \quad (1.7)$$

где $T_1 = \frac{cm}{\lambda F}$ – постоянная времени, с; p – оператор преобразования Лапласа; c - удельная теплоемкость материала чувствительного элемента, $\text{дж}/(\text{кг град})$; m - масса чувствительного элемента, кг ; F – площадь соприкасающейся со средой поверхности чувствительного элемента, м^2 ; λ – общий коэффициент теплопередачи от среды к чувствительному элементу, $\text{дж}/(\text{м}^2 \text{град. с})$.

Типы термопар, материалы, применяемые при их создании, а также пределы измерений для применяемых материалов приведены в табл. 1.1.

1.4. Описание лабораторной установки, применяемых датчиков и приборов

Лабораторная установка (рис. 1.3) содержит: емкость для нагрева воды, мультиметр $M-890$, милливольтметр $M-254$, датчики температуры (иссле-

дваемые термопары), измерительный комплекс *БИК-М* с внешним модулем *АЦП* и *ПК*.

1.1. Типы термопар и материалы, применяемые при их изготовлении

Тип термопар	Наименование материалов	Термо-ЭДС, $T=100^{\circ}C$	Предел измерений	
			Длительно	Кратковременно
ТПП	Платинородий (10% - родий; 90% - платина)	0.64	1300	1600
ТПР	Платинородий (30% - родий; 70% - платина)	1381 $t \leq 1800$	1600	1800
ТХК	Хромель-копель (56% - медь, 44% - никель)	6.9	600	800
ТВР	Вольфрам-рений (5% - рений, 95 - вольфрам)	1.33	1800	2500

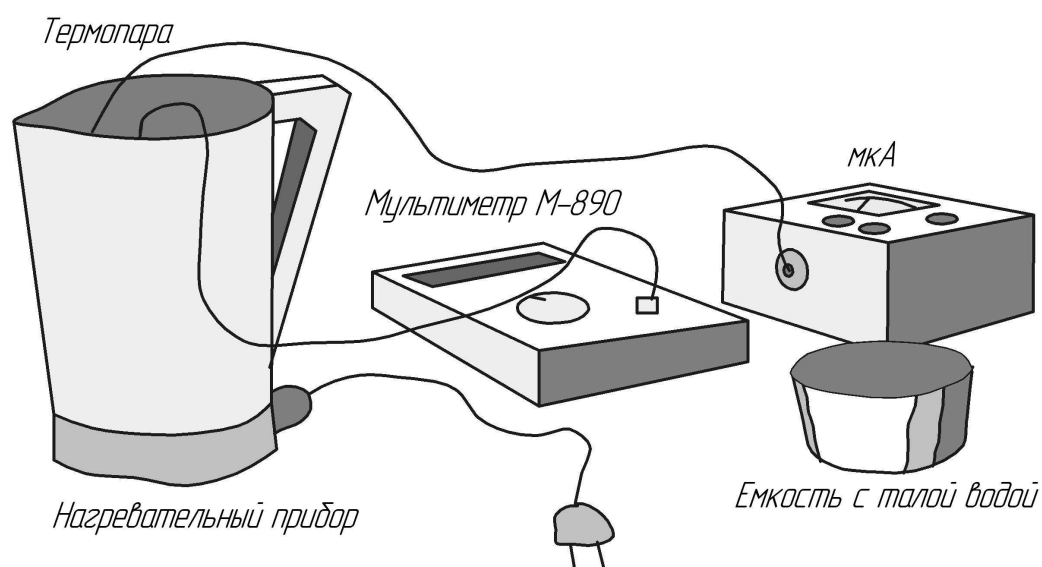


Рис. 1.3. Общий вид лабораторной установки для определения характеристики термопары

Основные технические характеристики измерительного комплекса с внешним модулем *АЦП* и *ПК БИК-М* представлены в табл. 1.2.

1.2. Основные технические характеристики

Тип модуля	E14-440
Количество каналов	16 дифференциальных или 32 с общей землей.
Разрядность АЦП	14 бит
Эффективная разрядность	13,3 бит(400 кГц, диапазон измерения 2,5 В)
Время преобразования (не более), мкс	2,5
Входное сопротивление при одноканальном вводе(не менее), МОм	1
Диапазон входного сигнала, В	$\pm 10; \pm 2,5; \pm 0,625; \pm 0,156$
Защита выходов	При включенном питании компьютера, входная защита выдерживает напряжение $\pm 30 В$. При включенном питании входная защита выдерживает напряжение $\pm 10 В$.
Размеры, мм	129×95×26

Общий вид измерительного комплекса с внешним модулем АЦП и ПК БИК-М представлен на рис. 1.4

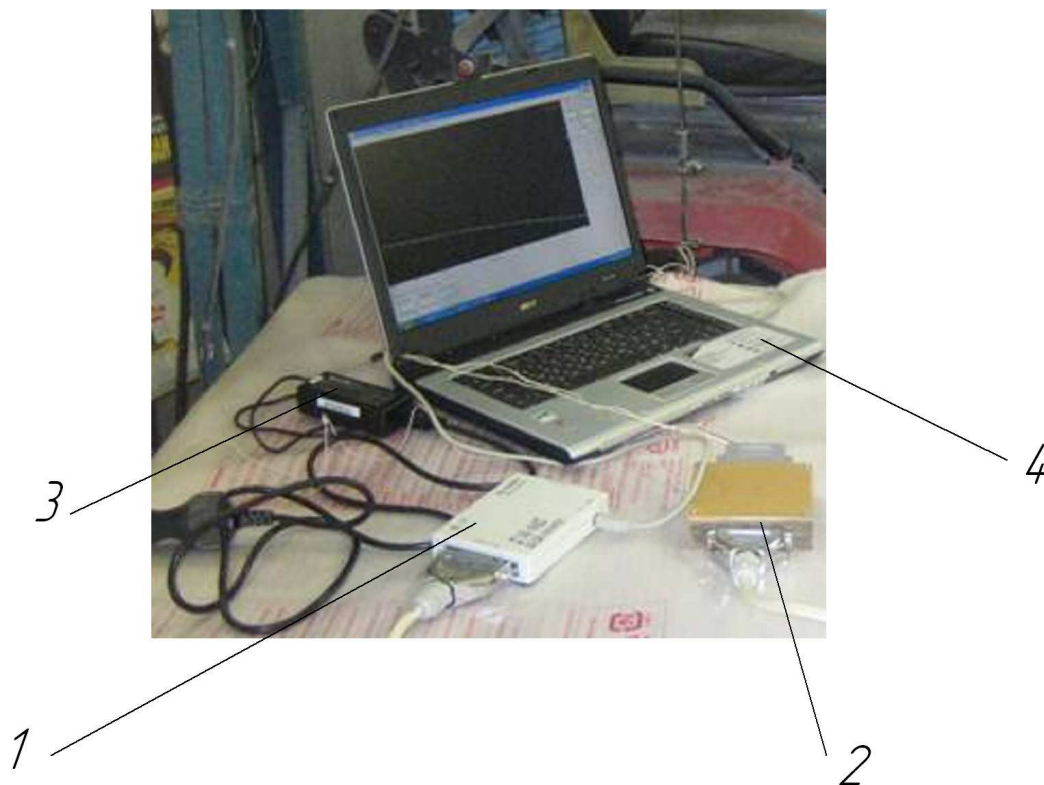


Рис. 1.4. Общий вид измерительного комплекса БИК-М с внешним модулем АЦП и ПК:

1 – АЦП E14-440; 2 – блок сопряжения; 3 – блок питания; 4 - компьютер

1.5. Порядок выполнения работы

1. Ознакомиться с техникой безопасности, описанием работы и характеристиками приборов.

2. Подготовить емкость с водой с температурой ноль градусов ($\theta = 0^{\circ}\text{C}$).

3. Подготовить емкость с водой для нагревания.

4. Опустить в воду термопару для измерения температуры (схема на рис. 1.3.)

5. Опустить в эту же емкость датчик измерения температуры прибора мультиметра типа *M-890*, предварительно установив на дисплее *M-890* показание температуры 0°C для чего датчик прибора необходимо опустить с сосуд с талой водой.

6. Включить емкость с нагреваемой водой в сеть и по мере нагревания воды считывать показания приборов *M-890* и ЭДС e по шкале милливольтметр *M-254*.

7. Характеристики исследуемых термопар, полученные с помощью измерительного комплекса *БИК-М* с внешним модулем *АЦП* и *ПК* сохранить на внешнем носителе, распечатать и выполнить их анализ.

Анализ характеристик исследуемых термопар состоит в определении и сопоставлении чувствительности исследуемых термопар по выражению (1.8) - измеряемой величины X и показанием прибора (милливольтметра)

$$Y = \frac{X}{M}, \quad (1.8)$$

где M – числовой коэффициент, характеризующий чувствительность всего измерительного канала (масштаб измерения).

Результаты анализа представить в виде характеристик исследуемых термопар и сравнить их с характеристиками, полученными по приборам *M-254* и *M-890*.

8. Считываемые с приборов показания занести в табл. 1.3, по которым в дальнейшем построить характеристики исследуемых термопар.

1.3. Показания приборов

Температура, $\theta^{\circ}\text{C}$ (показания мультиметра M-890)	Показания милливольтметра M-254, mV	
	1-я термопара	2-я термопара

По построенным характеристикам исследуемых термопар определим абсолютную и относительную погрешности измерений для чего по полученным значениям входных и выходных параметров (точкам m_1, m_2, \dots, m_n) построим аппроксимирующую прямую (рис.1.5).

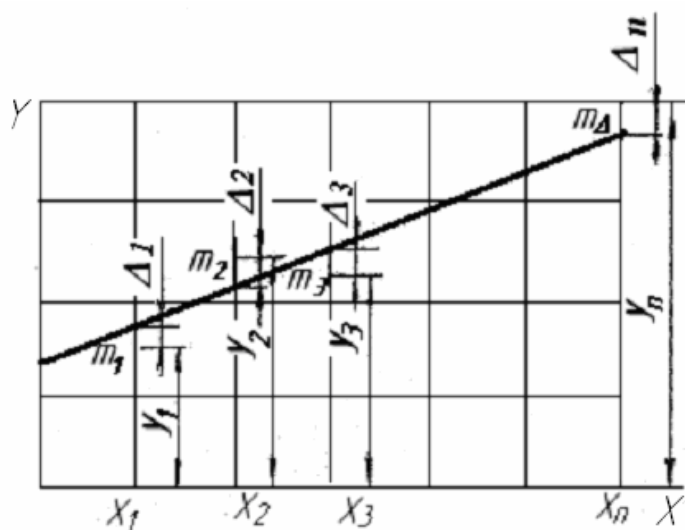


Рис. 1.5. Аппроксимированная прямая термопары

Уравнение аппроксимированной прямой можно записать в виде:

$$Y = aX_i + b,$$

где X_i – эталонное значение измеряемой входной величины i – го измерения; a – коэффициент пропорциональности; b – отрезок по оси ординат.

Абсолютная погрешность i – го замера определяется по выражению

$$\Delta i = aX_i + b - Y_i, \quad (1.9)$$

где Y_i – средняя ордината для i – замера.

Сумму квадратов можно определить как функцию двух переменных a и b :

$$\sum_0^n (aX_i + b - Y_i)^2 = f(a, b),$$

где n – число замеров.

Коэффициенты a и b определим из выражений

$$a = \frac{n \sum_0^n X_i Y_i - \sum_0^n Y_i \sum_0^n X_i}{n \sum_0^n X_i^2 - \left(\sum_0^n X_i \right)^2}; \quad (1.10)$$

$$b = \frac{\sum_0^n Y_i \sum_0^n X_i^2 - \sum_0^n X_i Y_i \sum_0^n X_i}{n \sum_0^n X_i^2 - \left(\sum_0^n X_i \right)^2}.$$

По выражению (1.9) определим абсолютную погрешность измерений.

Относительная погрешность измерений i –го опыта можем определить по формуле

$$\delta_i = \left(\frac{\Delta_i}{aX_{\max} + b} \right) 100\%,$$

где X_{\max} – наибольшее значение эталонной величины.

Среднеквадратичная погрешность определяется по формуле

$$\sigma = \pm \frac{\delta_{\lim}}{3},$$

где δ_{\lim} – наибольшая относительная погрешность в выбранном массиве измерений.

1.6. Содержание отчёта

1. Цель работы и задачи лабораторной работы.
2. Теоретическая часть.
3. Описание лабораторной установки, применяемых датчиков и приборов.
4. Последовательность выполнения работы.
5. Выводы по результатам работы.

1.7. Контрольные вопросы

1. Что такое датчики генераторного типа?
2. Какие бывают конструкции термопар?
3. Какие материалы, применяются при изготовлении термопар.
4. Какие существуют типы термопар?
5. Как определяется ЭДС термопары?
6. Определение чувствительности датчика (прибора).
7. Определение передаточной функции датчика (прибора).
8. Какие существуют методы уменьшения погрешностей?
9. Средства измерения прямого преобразования?
10. Определение абсолютной погрешности измерений.
11. Определение относительной погрешности измерений.
12. Определение среднеквадратичной погрешности.

Лабораторная работа № 2

ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТОННЫХ ДАТЧИКОВ

2.1. Цель работы

Приобретение навыков в конструировании и градуировке измерительных мостов.

2.2. Задачи лабораторной работы

1. Ознакомится со схемой измерительного моста и его основными характеристиками.
2. Ознакомится с описанием лабораторной установки и составить её принципиальную схему.
3. Ознакомится с измерительным комплексом и его основными техническими характеристиками.
4. Экспериментально выполнить калибровку силоизмерительного датчика и построить характеристику измерительного моста.
5. Определить и оценить погрешности измерений.

2.3. Теоретическая часть

При проведении разных видов испытаний тракторов и транспортно-тяговых машин (ТТМ) применяются измерительные комплексы включающие в себя датчики и приборы, преобразующие исследуемые неэлектрические величины (температура, механические напряжения, давление и др.) в электрические сигналы, воспринимаемые приборами или преобразуемые аналого-цифровыми преобразователями с первичной их обработкой.

Датчик (прибор) – информационное устройство, преобразующее контролируемый физический параметр в сигнал удобный для дальнейшей обработки.

Рассмотрим принцип работы простейшего проволочного датчика (рис. 2.1).

Зависимость омического сопротивления, тензодатчика от его геометрических размеров и материала определяется следующим выражением:

$$R = \rho \frac{l}{F}, \quad (2.1)$$

где R – омическое сопротивление, ом ; ρ – удельное сопротивление материала датчика, $\text{ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$; F – площадь поперечного сечения проволоки датчика, мм^2 .

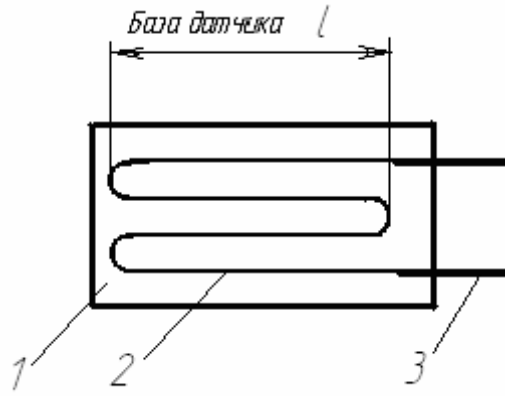


Рис. 2.1. Проволочный тензодатчик:

1 – подложка; 2 – проволока (решетка); 3 – выводы

При деформации датчика изменяется его длина, диаметр и удельное сопротивление и, следовательно, $R = f(l, F, \rho)$. Таким образом, элементарное приращение сопротивления датчика можно записать в виде:

$$dR = \frac{\rho}{F} dl - \frac{\rho l}{F^2} dF + \frac{l}{F} d\rho. \quad (2.2)$$

Площадь поперечного сечения проволоки датчика после деформации при растяжении равна:

$$F_1 = F \left(1 - \mu \frac{dl}{l} \right)^2, \quad (2.3)$$

где μ – коэффициент Пуассона.

После элементарных преобразований, и учитывая отрицательный знак деформации ($-dF = F - F_1$), получим

$$\frac{dF}{F} = -2\mu \frac{dl}{l}. \quad (2.4)$$

С учётом выражения (2.4) также можно записать

$$\frac{d\rho}{\rho} = \nu \frac{dl}{l}, \quad (2.5)$$

где ν – константа изменения удельного сопротивления проволоки тензодатчика.

После подстановки в уравнение (2.2) величин относительного изменения сечения и удельного сопротивления проводника из выражений (2.4) и (2.5), а также значение омического сопротивления R из выражения (2.1) и, решая это уравнение относительно величины $\frac{dR}{R}$, получим:

$$\frac{dR}{R} = (1 + 2\mu + \nu) \frac{dl}{l}. \quad (2.6)$$

Если обозначить $(1 + 2\mu + \nu) = K$, то получим основное уравнение тензодатчика, - преобразователя неэлектрической величины (крутящего момента, силы и др.) в электрическую

$$\frac{dR}{R} = K \frac{dl}{l}, \quad (2.7)$$

или

$$\frac{\Delta R}{R} = K \frac{\Delta l}{l},$$

где R – сопротивление датчика; ΔR – изменение сопротивления датчика, соответствующее удлинению Δl ;

Поскольку $K = 1 + 2\mu + \nu = \frac{\Delta R}{R} : \frac{\Delta l}{l}$ – величина постоянная для данного материала датчика, то коэффициент K называется чувствительностью тензорезисторного датчика (например для константана $K=2,0 \dots 2,1$).

Так как, тензорезисторный датчик наклеен на поверхность детали, являющуюся упругим элементом, то её деформация пропорциональна приложенному силовому фактору и изменение сопротивления датчика пропорционально действующему усилию P . Таким образом

$$\frac{\Delta R}{R} = m P, \quad (2.7)$$

где m - коэффициент пропорциональности.

Датчики с действительным интегрированием, имеющие несколько чувствительных элементов, расположенных в разных местах поля деформации упругих элементов (см. рис. 2.2 и рис. 2.3), от которых сигналы интегрируются суммирующей схемой (рис. 2.3), в результате чего получается скалярный выходной сигнал.

Чем больше тензочувствительных элементов, тем лучше действительное интегрирование. Это обусловлено структурой суммирующей схемы – измерительного моста (см. рис. 2.3).

Выходное напряжение такой схемы

$$u = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) U_s. \quad (2.8)$$

Если вместо отдельных сопротивлений подставить их зависимости в соответствии с уравнением

$$\frac{\Delta R}{R} = (1 + 2\nu + K_\rho) \varepsilon = K \varepsilon, \quad (2.9)$$

где $\varepsilon = \frac{\Delta l}{l}$ – деформация, запишем

$$R_v = R_0 \left(1 + \frac{\Delta R_v}{R_0} \right) = R_0 (1 + K \varepsilon); v = 1, \dots, 4, \quad (2.10)$$

то уравнение (2.8) для малых значений $K \varepsilon$ примет вид

$$u = K \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2 + \varepsilon_3 - \varepsilon_4}{4} U_s = K \bar{\varepsilon} U_s. \quad (2.11)$$

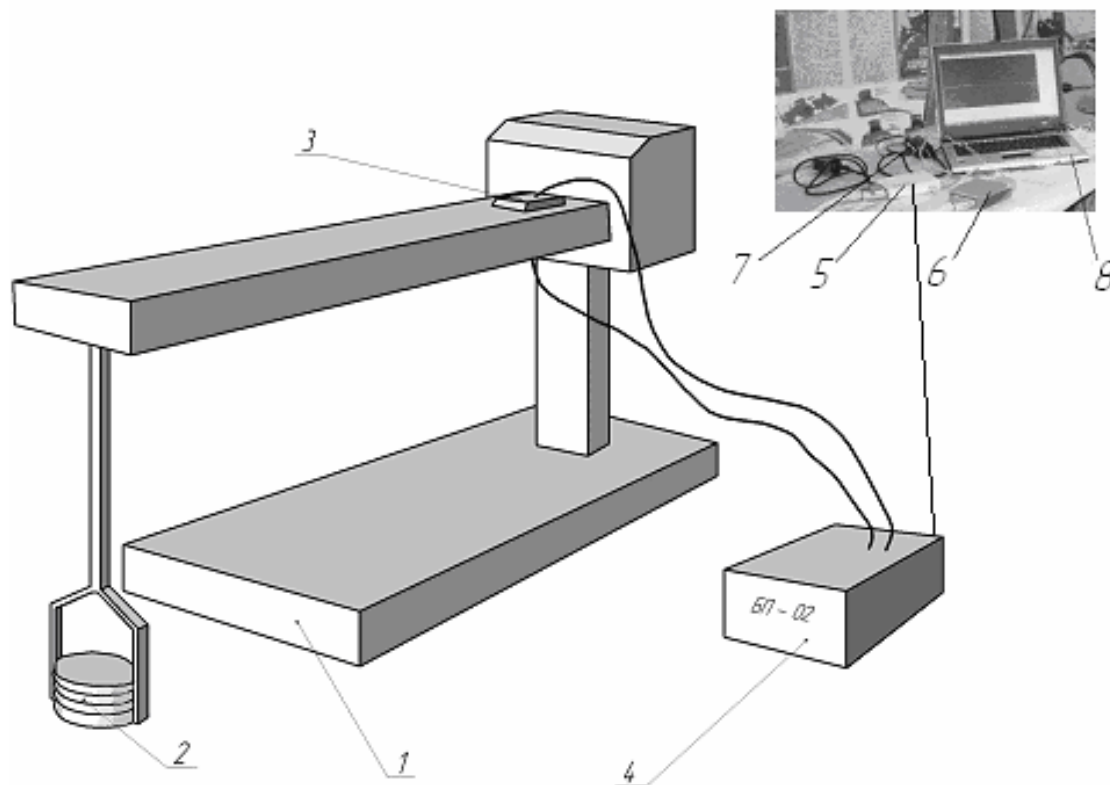


Рис. 2.2. Общий вид установки для градуировки измерительного моста:
 1 – основание установки; 2 – грузовая платформа с калиброванными гирями; 3 – измерительный мост; 4 – усилитель (блок питания) БП-02; 5 – аналогово-цифровой преобразователь Е14-440; 6 – блок сопряжения; 7 – блок питания; 8 – компьютер

Из полученного выражения следует, что мостовая схема при одинаковых тензорезисторах обеспечивает сохранение симметрии, поскольку при изменении температуры все измерения ε_v одного знака во всех звеньях компенсируются.

Измерение деформации изгиба. При измерении деформации изгиба тензорезисторы как правило размещают с двух сторон изгибаемого объекта исследования один против другого (рис. 2.4). Все четыре тензорезистора включают в схему измерительного моста (рис. 2.3). В этом случае они выполняют функции как активных, так и компенсационных.

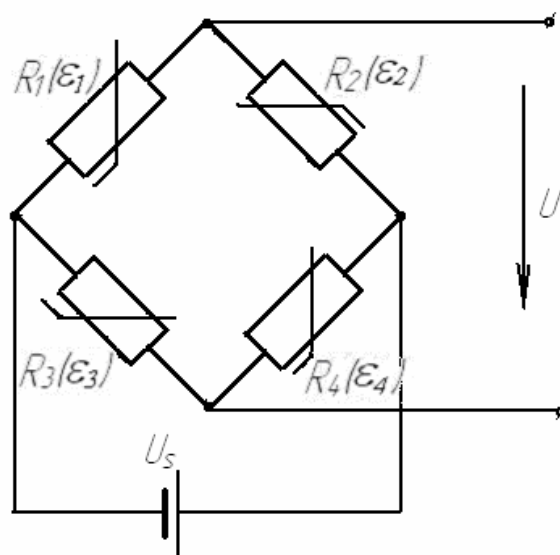


Рис. 2.3. Схема измерительного моста применяемого в установке

Чтобы получить возможно большее выходное напряжение, деформации первого и четвёртого тензорезисторов должны иметь знак, противоположный знаку деформации второго и третьего тензорезисторов. Это достигается соответствующим размещением тензорезисторов (см. рис. 2.4). Напряжение на выходе измерительного моста можно определить по формуле

$$U_m \approx U_n \frac{\Delta R}{R}.$$

Работа измерительного моста состоит в том, что падение напряжения на последовательно соединенных сопротивлениях пропорционально этим сопротивлениям.

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4} \text{ или } R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3, \quad (2.11)$$

при этом условии ток будет равен нулю $I = 0$.

Напряжение в измерительной диагонали моста определяется по формуле

$$U = \left(\frac{R_1}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right) \cdot U_s. \quad (2.12)$$

$$R_v = R_0 \cdot \left(1 + \frac{\Delta R_v}{R_0} \right) = R_0 \cdot (1 + k \cdot E_v), v = 1 \dots 4. \quad (2.13)$$

$$U = k \cdot \frac{E_1 - E_2 + E_3 - E_4}{4} \cdot U_s = k \cdot E \cdot v_s, \quad (2.14)$$

где k – коэффициент тензочувствительности.

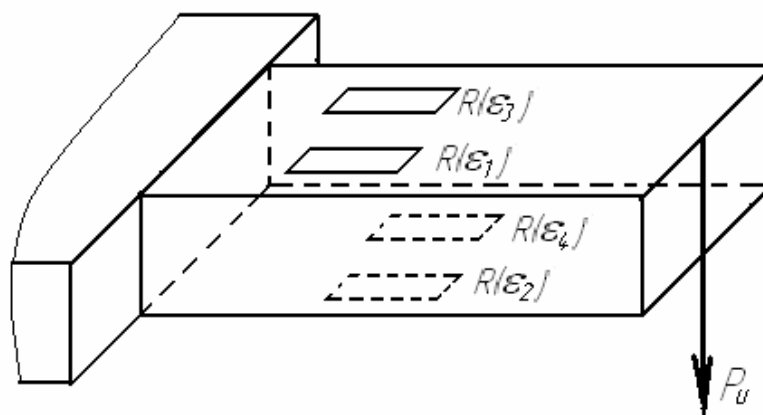


Рис. 2.4. Схема установки тензорезисторов для измерения деформации изгиба

Измерение деформации кручения. При кручении вала максимальные деформации растяжения и сжатия возникают на его поверхности вдоль винтовых линий, расположенных под углом 45° к оси вала.

При использовании четырёх тензорезисторов $R(\varepsilon_1)$ и $R(\varepsilon_4)$ наклеивают с одной стороны вала, а $R(\varepsilon_2)$ и $R(\varepsilon_3)$, с другой (см. рис. 2.5).

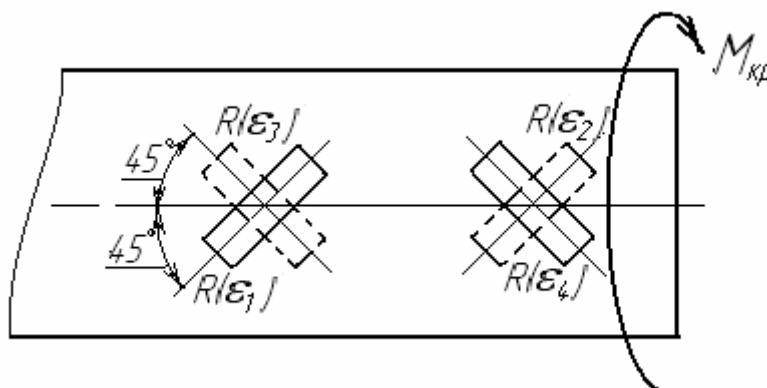


Рис. 2.5. Схема расположения тензорезисторов при измерении деформации кручения

Выходное напряжение в этом случае определяется по формуле

$$U_m \approx \frac{U_n \Delta R_k}{R},$$

где U_n — напряжение питания.

Градуировка тензометрического измерительного моста устанавливает взаимосвязь между известной величиной измеряемого воздействия и показанием измерителя, вызываемым этим воздействием.

Связь между измеряемой величиной X и показанием измерителя Y можно записать в виде:

$$Y = \frac{X}{M}, \quad (2.15)$$

где M – числовой коэффициент, характеризующий чувствительность всего измерительного канала (масштаб измерения).

По результатам градуировки определяется масштабный коэффициент

$$M = \frac{\sum (x_i y_i)}{\sum y_i^2} \quad (2.16)$$

где x_i – значение измеряемой величины тарировочной ступени;

y_i – показание измерителя, соответствующее величине x_i .

При линейности амплитудной характеристики тензометрической аппаратуры и качественном изготовлении измерительного моста масштаб измерения в рабочем диапазоне измеряемых величин практически остается постоянным.

Существует несколько способов градуировки: преобразование данных из делений шкалы АЦП в действительные значения измеряемых величин, механический (непосредственный или косвенный) электрический и другие.

В первом случае градуировка производится по значениям измерений в делениях шкалы АЦП (пикселям) и значениям реальных физических величин, измеряемых с помощью внешних приборов. По полученным данным вычисляются градуировочные коэффициенты. Точность градуировки задается программой- методикой испытаний.

По виду создаваемых нагрузок различают градуировку статическую и динамическую.

Статическая градуировка заключается в том, что измерительный мост нагружается последовательными ступенями известными величинами измеряемого воздействия в пределах рабочего диапазона с последующей разгрузкой в том же порядке. Для каждой ступени нагрузки и разгрузки фиксируются показания измерительных приборов или визуализированных сигналов на мониторе ПК.

С целью повышения достоверности результатов условия градуировки должны быть максимально приближены к условиям эксперимента т.е. схема напряжения измерительного моста, применяемая аппаратура и условия ее эксплуатации как при градуировке так и при проведении измерений должны быть одинаковыми. При градуировке измерительный мост рекомендуется устанавливать на его рабочее место.

Электрическая градуировка сводится к электрической имитации линейных деформаций. Заданная величина деформаций может быть имитирована с помощью калибровочного сопротивления, которое может включаться в одно из плеч измерительного моста.

Для градуировки измерительных мостов используют винтовые и рычажные тарировочные установки.

В данной лабораторной работе для выполнения градуировки применяется электромеханизм типа МП-250, осуществляющий нагрузку (разгрузку) измерительного моста за счет возвратно-поступательного движения штока

винтовой пары. Измерение создаваемой нагрузки осуществляется тензодинамометром типа КЭД-500 и образцовым динамометром растяжения, установленные последовательно измерительную цепь (см. рис. 2.3).

2.4. Описание лабораторной установки, применяемых датчиков и приборов

Лабораторная установка по градуировке силоизмерительного датчика (см. рис. 2.3) предназначена для приобретения навыков снятия статических и динамических характеристик измерительных мостов.

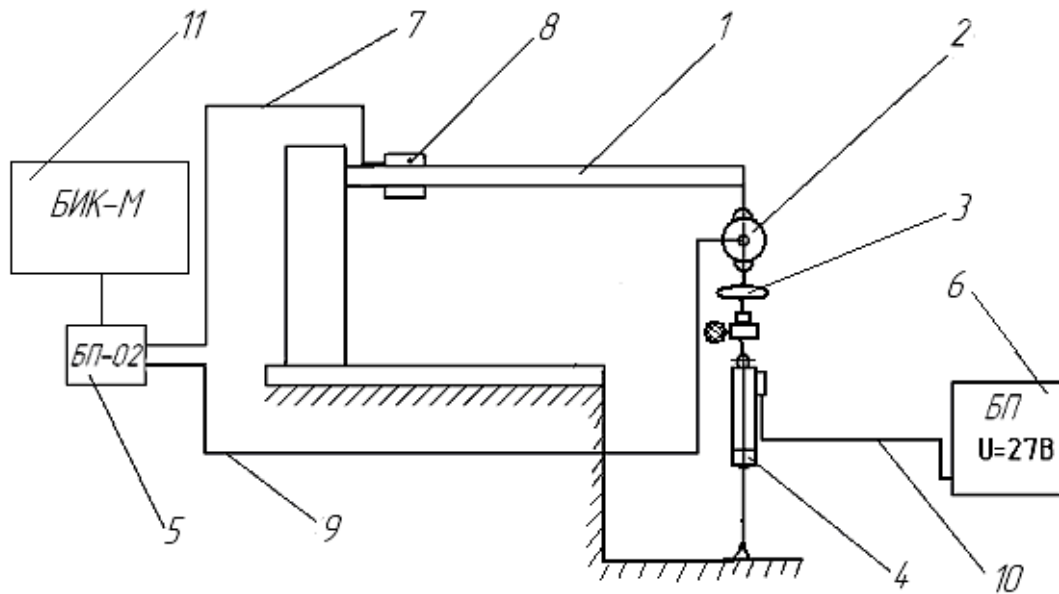


Рис. 2.3. Принципиальная схема лабораторной установки для выполнения градуировки измерительного моста:

1 – консольная балка; 2 – тензодинамометр; 3 – образцовый динамометр растяжения; 4 – электромеханизм – МП – 250; 5 – блок питания измерительного моста БП - 02; 6 – блок питания электромеханизма МП – 250; 7 – кабель питания измерительного моста; 8 – измерительный мост; 9 – кабель питания тензодинамометра; 10 – кабель питания электромеханизма МП – 250; 11 – измерительный комплекс БИК - М

Информация обрабатывается измерительным комплексом БИК-М с внешним модулем АЦП и ПК и представляется в виде отчета по лабораторной работе.

2.5. Техника безопасности

1. Приступая к работе необходимо проверить правильность соединения силовых кабелей и заземления всех элементов лабораторной установки.

2. Расположение грузовой платформы должно быть таким, чтобы в секторе 270 градусов было свободное место в радиусе 1...1,5 м.

3. Установку грузов на грузовую платформу производить сбоку от грузовой платформы.

2.6. Порядок выполнения работы

1. Собрать экспериментальную установку для выполнения градуировки измерительного моста.

2. С помощью мультиметра М-890 проверить отсутствие разрывов в цепи измерительного моста и отсутствия проводников на корпус.

3. Подключить тяговое звено (тензодинамометр) на вход измерительного комплекса с внешним модулем АЦП и ПК БИК-М.

4. Изучить работу бортового измерительного комплекса БИК-М.

5. Включить аппаратуру и прогреть ее в течении 15 мин.

6. Произвести балансировку измерительного моста (если он разбалансирован) подстроечными резисторами усилителя БП-02.

7. Выполнить статическую градуировку путем установки калиброванных гирь на грузовую платформу в установленном диапазоне с регистрацией показаний милливольтметра М-254 и занесением результатов в табл. 2.1. Далее получить разгрузочную характеристику путем последовательного уменьшения вертикальной нагрузки на консольную балку.

2.1. Результаты опытов калибровки силоизмерительного датчика

№	Масса, кг	Вес, Н	Масштаб шкалы	1 опыт		2 опыт		3 опыт		Среднее значение, мВ		Приведенное среднее Y, mV
				нагрузка	разгрузка	нагрузка	разгрузка	нагрузка	разгрузка	нагрузка	разгрузка	
1	0	0	10 mV / 150 делений	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	10										
3	2	20										
4	3	30										
5	4	40										
6	5	50										
7	6	60										
8	7	70										
9	8	80										
10	9	90										
11	10	100										

8. Выполнить динамическую градуировку путем увеличения нагрузки в тяговом звене включая в работу электромеханизм типа МП-250 с подачей выходного напряжения измерительного моста на вход аналого-цифрового преобразователя АЦП Е14-440 с последующей его обработкой.

9. Выполнить сравнительный анализ результатов измерений. Результаты анализа вывести на печать и представить в графической форме.

10. Определить погрешность измерений при градуировке тягового звена, включающую погрешность измерительного канала, для чего построим график зависимости показаний измерителя от измеряемого воздействия, отложив по оси абсцисс (см. рис. 2.4) значения растягивающих усилий X , приложенных к тяговому звену, а по оси ординат - соответствующее значение средних ординат Y графика. Построим аппроксимирующую прямую, уравнение которой имеет вид:

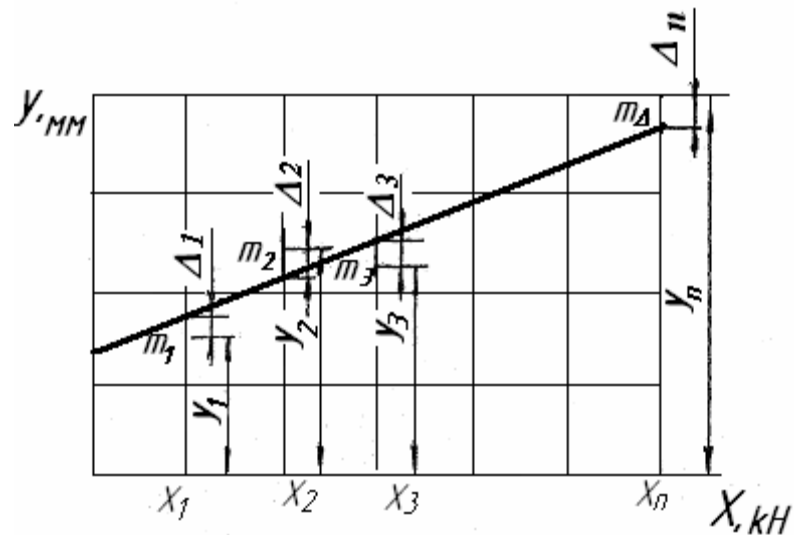


Рис. 2.4. Определение погрешностей измерений

$$Y = aX_i + b, \quad (2.17)$$

где X_i – эталонное растягивающее усилие i -ой ступени нагружения; a – коэффициент пропорциональности; b – отрезок отсекаемый прямой на оси ординат.

Погрешность i – го замера можно подсчитать по формуле

$$\Delta i = aX_i + b - y_i, \quad (2.18)$$

где y_i – средняя ордината для i – ой ступени нагружения.

Сумму квадратов погрешностей можно представить как функцию двух переменных a и b :

$$\sum_{i=1}^n (aX_i + b - y_i)^2 = \Phi(a, b), \quad (2.19)$$

где n – число ступеней нагружения.

Продифференцировав выражение (2.19) по a и b , получим систему двух уравнений

$$\begin{cases} \sum_0^m (aX_i + b - y_i)X_i = 0 \\ \sum_0^n aX_i + b - y_i = 0, \end{cases} \quad (2.20)$$

решая которую относительно a и b , получим

$$\begin{aligned} a &= \frac{n \sum_0^n X_i y_i - \sum_0^n y_i \sum_0^n X_i}{n \sum_0^n X_i^2 - \left(\sum_0^n X_i \right)^2}; \\ b &= \frac{\sum_0^n y_i \sum_0^n X_i^2 - \sum_0^n X_i y_i \sum_0^n X_i}{n \sum_0^n X_i^2 - \left(\sum_0^n X_i \right)^2}. \end{aligned} \quad (2.21)$$

После определения значений a и b , по формуле (2.18) можно рассчитать абсолютную погрешность каждого опыта.

Относительная погрешность i -го опыта рассчитывается по формуле

$$\delta_i = \left(\frac{\Delta_i}{aX_{\max} + b} \right) \cdot 100\%, \quad (2.22)$$

где X_{\max} – наибольшее значение эталонной нагрузки.

Среднеквадратичную погрешность можно рассчитать по выражению

$$\delta = \pm \left(\frac{\delta_{\lim}}{3} \right), \quad (2.23)$$

где δ_{\lim} – наибольшая относительная погрешность в выбранной серии измерений.

2.7. Содержание отчета

1. Изложить краткое содержание основных теоретических положений в контексте методики проведения лабораторной работы; выполнить изображения схем лабораторной установки и характеристик испытываемых датчиков.

2. Заполнить табл. 2.1 и по формуле (2.16) рассчитать масштабный коэффициент (для статической градуировки).

3. Используя методику п. 10 рассчитать абсолютную, относительную и среднеквадратичную погрешности. При этом принять $n = 5$.

2.8. Контрольные вопросы

1. Какие существуют резистивные чувствительные элементы?

2. Какие существуют тензочувствительные материалы?
3. Как определяется коэффициент тензочувствительности?
4. По каким признакам осуществляется классификация тензорезисторов?
5. Назвать основные параметры измерительного моста.
6. Какие существуют мостовые схемы с увеличенным количеством тензорезисторов?
7. Какие существуют конструкции упругих элементов?
8. В чем состоит сущность калибровки и силоизмерительного датчика?
9. Назвать погрешности измерений и методы их уменьшения.
10. Какими параметрами определяется чувствительность измерительного моста?

Лабораторная работа № 3

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КООРДИНАТ ЦЕНТРА МАСС ТРАКТОРА

3.1. Цель работы

Изучить и освоить методы определения координат центра масс трактора Т-012, а также предельные углы подъёма и уклона и бокового уклона на базе лаборатории кафедры “Колёсные и гусеничные машины” МГТУ «МАМИ».

3.2. Задачи лабораторной работы

1. По описанию лабораторной установки ознакомиться с конструкцией стенда для определения координат центра масс трактора Т-012, а также предельные углы подъёма и уклона и его основными характеристиками.
2. Ознакомиться с измерительным комплексом и его основными техническими характеристиками.
3. Экспериментально определить продольную, вертикальную и поперечную координаты центра масс трактора.
4. Экспериментально определить предельные углы подъёма, уклона и угол бокового уклона трактора.
5. Определить и оценить погрешности измерений.

3.3. Описание лабораторной установки, приборов и оборудования

Общий вид экспериментальной установки для определения координат центра масс трактора представлен на рис. 3.1. Она содержит опорную стойку 2, оснащенную грузоподъемным устройством 3; динамометр “Токаря (ДОС-1) 4 с индикатором часового типа; уровень (УС-2) 5; тензодинамометр (КЭД-05) 6; опорные башмаки 7; бортовой измерительный комплекс БИК-М с внешним модулем АЦП и ПК 8. В качестве объекта исследования 1 используется колесный трактор Т-012.

Положение центра масс трактора в общем случае характеризуется тремя координатами (рис. 3.2): продольной - a , поперечной – e и вертикальной – h .

Продольная координата a центра масс определяет расстояние от вертикальной плоскости проходящей через геометрическую ось задних колес до центра масс трактора.

Поперечная координата e центра масс есть расстояние от продольной плоскости, проходящей через ось симметрии машины до ее центра масс.

Вертикальная координата h центра масс трактора определяется расстоянием от опорной поверхности до ее центра масс.



Рис. 3.1. Общий вид экспериментальной установки для определения координат центра масс трактора с бортовым измерительным комплексом БИК –М с внешним модулем АЦП и ПК:

1 - колесный трактор Т-012; 2 - опорная стойка; 3 – грузоподъемное устройство; 4 - динамометр “Токаря (ДОС-1) с индикатором часового типа; 5 - уровень (УС-2); 6 - тензодинамометр (КЭД-05); 7 - опорные башмаки; 8 - бортовой измерительный комплекс БИК-М с внешним модулем АЦП и ПК

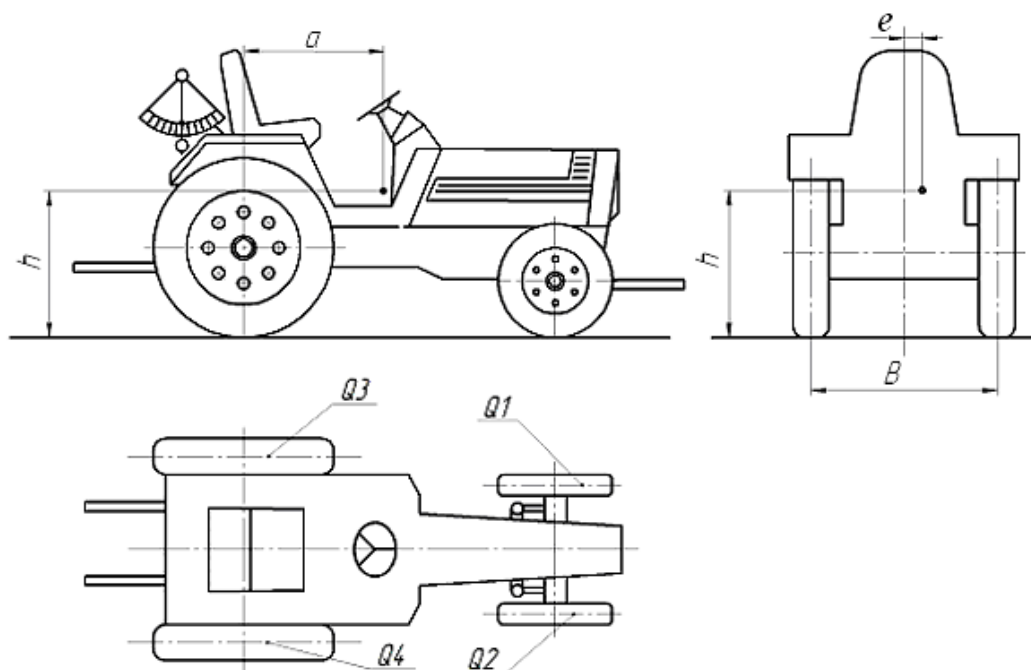


Рис. 3.2. Схема к определению координаты центра масс колесного трактора Т-012

1. Приступая к работе, необходимо убедиться в надежности крепления грузоподъемного устройства на грузонесущей балке.
2. Управление грузоподъемным устройством осуществляется оператором стоящим сбоку от поднимаемого трактора.
3. Грузоподъемное устройство должно быть заземлено согласно электрической схеме паспорта на ЭГУ-0,5.
4. Установку опорных башмаков под колеса трактора необходимо производить находясь сбоку трактора.

1. Установить испытываемый трактор на горизонтальную площадку.
2. Сделать давление воздуха в шинах в соответствии с заводской инструкцией для транспортных работ. Закрепить на тракторе передний 3 и задний 4 кронштейны подвеса (см. рис. 3.3). Используя грузоподъемный механизм установить колеса трактора на опорные башмаки 7 и 8.

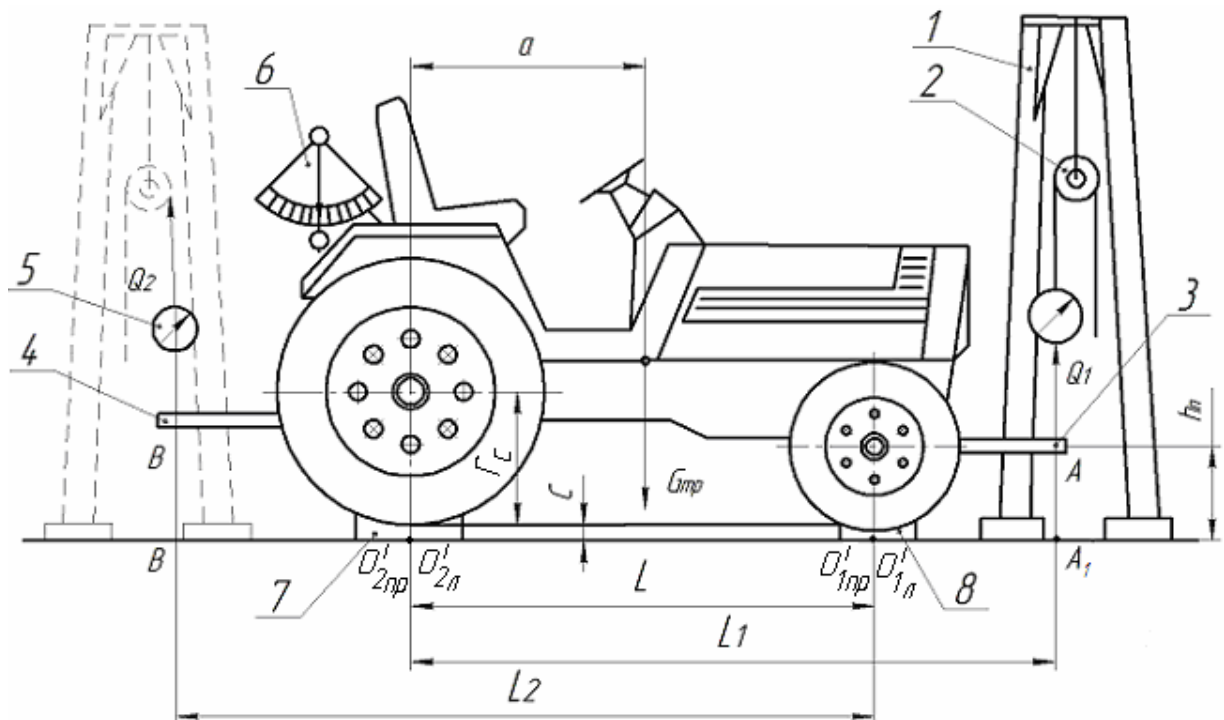


Рис. 3.3. Схема определения горизонтальной координаты центра масс трактора Т-012

3. С помощью отвеса нанести на опорную поверхность проекции передней и задней точек подвеса A и B . Нанести на опорную поверхность проекции осей передних и задних колес $O_{1n}O_{1л}$ и $O_{2n}O_{2л}$. Закрепить на корпусе трактора угломер δ , для замера угла наклона остова трактора.

4. Замерить:

1) продольную базу трактора (расстояние между проекциями осей передних и задних колес на опорной поверхности) расстояние L ;

2) расстояние L_1 между проекциями на опорную поверхность передней точки подвеса и оси задних колес 3;

3) расстояние L_2 между проекциями на опорную поверхность задней точки подвеса и оси передних колес;

4) Статический радиус r_c задних колес.

Абсолютное значение погрешности измерений не должен превышать 0,005 измеряемой величины.

5. Установить грузоподъемный механизм таким образом, чтобы грузовой канат в свободном состоянии проходил через точку B . Соединить грузовой канат грузоподъемного устройства через кронштейн подвеса 4 через динамометр 5.

6. С помощью грузоподъемного устройства поднять заднюю часть трактора, убрать опорные башмаки из под освободившихся колес, затем опустить задний мост до исходного положения при этом отклонение угломера должно быть равно нулю. Снять показания динамометра и определить вертикальную нагрузку Q_2 .

Аналогично определить вертикальную нагрузку Q_1 , приходящуюся на передний кронштейн подвеса.

7. Определить величину продольной координаты центра масс a , для чего составим уравнение моментов сил относительно осей $O_{1n}O_{1л}$ и $O_{2n}O_{2л}$:

$$\begin{aligned} Q_2 L_2 &= G_{mp} (L - a); \\ Q_1 L_1 &= G_{mp} a. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Из уравнений (3.1) определим величину продольной координаты центра масс трактора

$$a = \frac{Q_1 L}{Q_2 L + Q_1 L_1}. \quad (3.2)$$

В свою очередь из второго уравнения (3.1) с учетом выражения (3.2)

$$Q_1 L_1 = G_{mp} \frac{Q_1 L_1 L}{Q_2 L_2 + Q_1 L_1}. \quad (3.3)$$

Решая уравнение (3.3) относительно G_{mp} , получим

$$G_{mp} = \frac{Q_2 L_2 + Q_1 L_1}{L}. \quad (3.4)$$

8. Измерить высоту передней точки h_n для горизонтального положения трактора. Измерить высоту подставок C .

9. Рассчитать высоту подъема передней точки подвеса h_n'' , которая обеспечивает совпадение проекций на опорную поверхность названной точки подвеса, как для горизонтального, так и наклонного положения остова трактора по формуле:

$$h_n'' = h_n + 2[r_c - (h_n - c)]. \quad (3.5)$$

Угол подъема передней части остова трактора при этом можно рассчитать, используя выражение (3.5). Из треугольника AA_1O_1 запишем

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{r_c - (h_n - c)}{L_1} = \frac{0,5(h_n'' - h_n)}{L_1}. \quad (3.6)$$

10. С помощью грузоподъемного устройства поднять переднюю точку подвеса на высоту h_n'' . По динамометру определить вертикальное усилие Q_1'' .

Сравнить показания угломера δ с результатом расчета по формуле (3.6).

11. Определим вертикальную координату центра масс трактора, для чего составим уравнение (3.7) в соответствии со схемой на рис. 3.4.

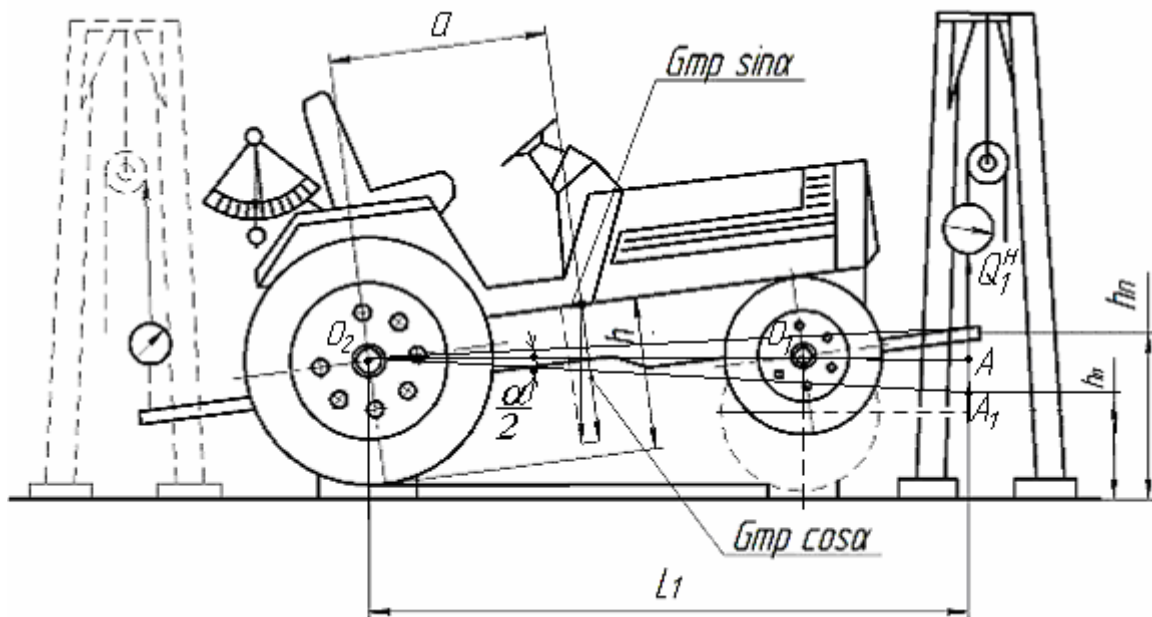


Рис. 3.4. Схема определения вертикальной координаты центра тяжести трактора Т-012

$$Q_1 L_1 + G_{mp} \sin \alpha (h - r_c) = G_{mp} \cos \alpha a \quad (3.7)$$

Из уравнения (3.7) определим величину h

$$h = \frac{G_{mp} \cos \alpha a + G_{mp} \sin \alpha r_c - Q_1^n L_1}{G_{mp} \sin \alpha} \quad (3.8)$$

9. Прикрепить боковой кронштейн к диску левого заднего колеса (рис. 3.5). При этом необходимо обеспечить расположение точки подвеса D в вертикальной плоскости, проходящей через ось задних колес. Заклинить переднюю ось трактора, полностью исключив ее поворот относительно оси качения. Установить грузоподъемное устройство таким образом, чтобы грузовой канат в свободном состоянии проходил через точку подвеса D .

По уровню 10 проверить горизонтальность остова трактора в поперечной плоскости.

10. В соответствии со схемой на рис.3.5 измерить:

- 1) l_1 и l_2 - расстояния соответственно между внутренними и внешними боковинами колес на уровне их горизонтального диаметра;
- 2) l_3 - расстояние от точки подвеса D до плоскости прилегающей к внешней поверхности шины левого заднего колеса;
- 3) h_6 - расстояние от точки подвеса D до опорной поверхности.

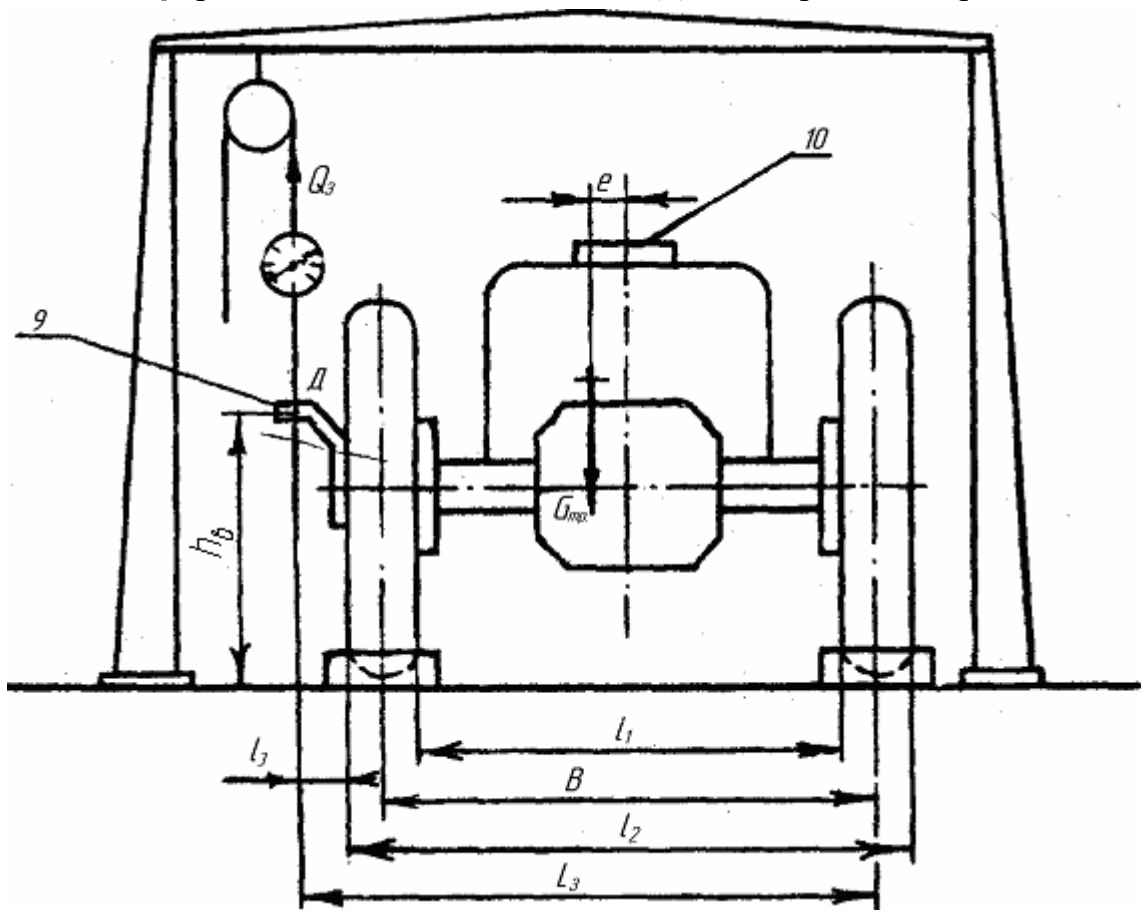


Рис. 3.5. Расчетная схема определения поперечной координаты центра масс трактора Т-012

11. Приподнять с помощью грузоподъемного устройства левую часть трактора, удалить из-под колес левого борта опорные башмаки, опустить трактор до исходного положения и по динамометру определить нагрузку Q_1 , приходящуюся на кронштейн подвеса для горизонтального положения трактора. Контроль исходного положения осуществлять по уровню и по величине расстояния h_6 .

12. Составим аналитическое выражение для определения поперечной координаты центра тяжести трактора:

$$Q_3 L_3 = G_{mp} (0,5B + e) \quad (3.9)$$

Из уравнения (3.9) определяем величину e .

$$e = \frac{Q_3 L_3 - 0,5 G_{mp} B}{G_{mp}}, \quad (3.10)$$

где

$$L_3 = B + l_3 + 0,25(l_2 - l_1)$$

$$B = 0,5(l_2 - l_1)$$

13. По формулам (3.2), (3.8) и (3.10) вычислить значения координат центра масс трактора.

При расчетах использовать значение G_{mp} , определяемое из выражения (3.4).

14. По формулам (3.11) рассчитать статическую нагрузку, приходящуюся на передний G_1 и задний G_2 мосты трактора:

$$G_1 = \frac{G_{mp} a}{L};$$

$$G_2 = \frac{G_{mp} (L - a)}{L} \quad (3.11)$$

15. Используя результаты лабораторной работы, рассчитать для трактора Т-012:

предельный угол подъема

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{a}{h}; \quad (3.12)$$

предельный угол уклона

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{L - a}{h}; \quad (3.13)$$

предельный угол бокового уклона

$$\operatorname{tg} \alpha_3 = \frac{0,5B - l}{h}. \quad (3.14)$$

Результаты измерений и расчетов занести в табл. 3.1

3.1. Результаты измерений и расчётов

Наименование параметров	Обозначение, размерность	Замечание
1	2	3
Экспериментальные данные		
1. Продольная база трактора	$L, мм$	
2. Расстояние между проекциями на опорную поверхность передней точки подвеса от оси задних колес	$L_1, мм$	
3. Расстояние между проекциями на опорную поверхность задней точки подвеса от оси передних колес	$L_2, м$	
4. Статический радиус задних колес	$r_c, мм$	
5. Нагрузка на передний кронштейн подвеса для горизонтального положения остова трактора.	$Q_n, кН$	
6. Нагрузка на задний кронштейн подвеса для горизонтального положения остова трактора.	$Q_z, кН$	
7. Нагрузка на передний кронштейн подвеса для наклонного положения остова трактора.	$Q_n'', кН$	
8. Высота передней точки подвеса для горизонтального положения остова трактора.	$h, мм$	
9. Высота подставок	$c, мм$	
10. Расстояние между внутренними боковинами шин задних колес	$l_1, мм$	
11. Расстояние между внешними боковинами шин задних колес	$l_2, мм$	
12. Расстояние от точки подвеса бокового кронштейна до опорной поверхности	$h_6, мм$	
13. Расстояние от точки подвеса бокового кронштейна до плоскости, прилегающей к внешней боковине шины левого заднего колеса	$l_3, мм$	
Расчетные параметры		
14. Продольная координата центра масс	$a, мм$	
15. Вертикальная координата центра масс	$h, мм$	
16. Поперечная координата центра масс	$l, мм$	
17. Вес трактора.	$G_{mp}, кН$	
18. Статическая нагрузка приходящаяся на передний мост трактора	$G_1, кН$	
19. Статическая нагрузка приходящаяся на задний мост трактора	$G_2, кН$	
20. Предельный угол подъема	$\alpha_{1lim}, град$	
21. Предельный угол уклона	$\alpha_{2lim}, град$	
22. Предельный угол бокового уклона	$\alpha_{3lim}, град$	
23. Колея трактора		
24. Плечо приложения силы	$L_3, мм$	

Продолжение табл. 3.1

1	2	3
25. Высота передней точки подвеса для наклонного положения остова трактора	$h_n^H, \text{мм}$	
26. Угол наклона остова трактора	$\alpha, \text{град.}$	

3. 6. Содержание отчета

1. Составить краткий конспект методики проведения лабораторной работы с изображением схем лабораторной установки.
2. По результатам измерений и расчетов заполнить табл. 3.1.

3.7. Контрольные вопросы

1. В чём состоит сходство и отличие определения центра тяжести колёсного и гусеничного тракторов?
2. Какие координаты определяют положение центра тяжести трактора?
3. Какие правила должны быть выполнены при определении центра тяжести трактора?
4. В чём состоит физическая сущность предельного угла подъёма? Определение угла подъёма.
5. Определение предельного угла уклона.
6. Определение предельного угла бокового уклона.

Список литературы

1. Гладов Г.И., Петренко А.М. Специальные транспортные средства. (Испытания) / под ред. Г.И. Гладова. – М.: ООО “Гринлайт +”, 2010. 384с.
2. Нуберт Г.П. Измерительные преобразователи неэлектрических величин. - Л.: Энергия, 1970.
3. Васильев А.В. Тензометрирование и его применение в исследованиях тракторов. - М.: Машгиз, 1963.
4. Макаров Р.А. и др. Тензометрия в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1976.
5. Спектор С.А. Электрические измерения физических величин: Методы измерений. Учебное пособие для вузов. - Л.: Энергоатомиздат, 1987.