

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Курганский государственный университет

Кафедра «Автомобили»

ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ И ТРАКТОРА

Методические указания
к проведению лабораторных работ
для студентов специальностей 190201, 190109.65, направления 190100

Курган 2012

Кафедра: «Автомобили»

Дисциплина: «Испытания автомобиля и трактора»
(специальность 190201, 190109.65,
направление 190100).

Составил: канд. техн. наук, доц. С.С. Гулезов

Утверждены на заседании кафедры «14» марта 2012 г.

Рекомендованы методическим советом университета «23» марта 2012 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа №1 ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ.....	4
Лабораторная работа №2 ИЗМРЕНИЕ ТМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОПАР.....	8
Лабораторная работа №3 ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ХРУПКИХ ПОКРЫТИЙ.....	14
Лабораторная работа №4 КАЛИБРОВКА ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ.....	17

Лабораторная работа №1

ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ДАТЧИКОВ

Цель работы: Ознакомление с характеристиками основных схем включения датчиков, приобретение навыков работы с измерительной аппаратурой.

Оборудование и приборы: реостатный датчик, макетная плата с набором элементов для исследуемых схем, комплект соединительных проводов, регулируемый источник стабилизированного постоянного напряжения (5 ... 10 В, 300 ... 500 мА), миллиамперметр.

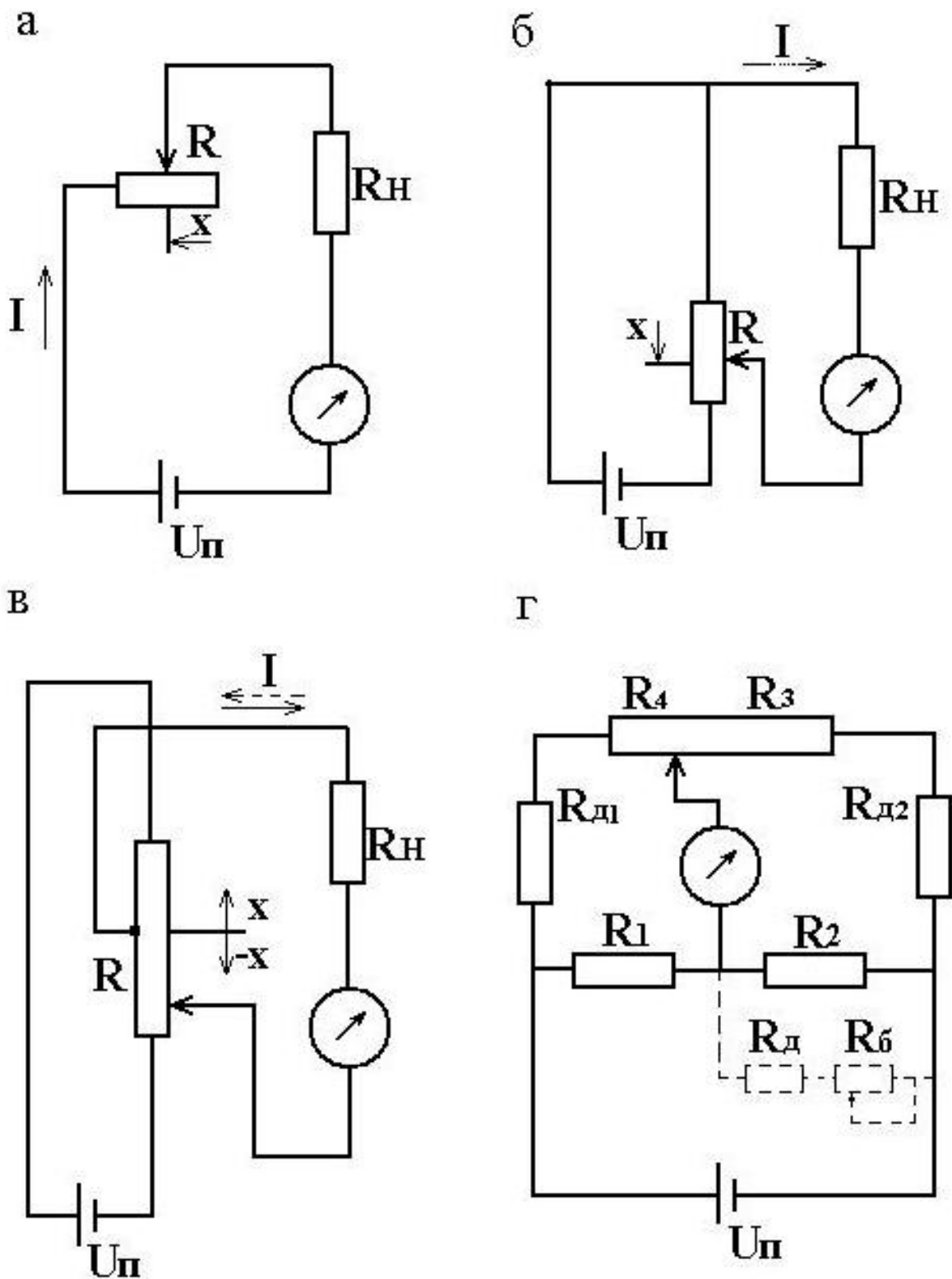
Предварительные сведения

Датчик - это первичный преобразователь средства измерения, на который непосредственно воздействует сигнал измерительной информации. По принципу действия преобразователи делятся на активные (генераторные) и пассивные (параметрические). Преобразователи первого типа под воздействием входной величины вырабатывают электрический сигнал. Например, перемещение подвижной части индукционного датчика наводит в его обмотке ЭДС. Активный преобразователь, как правило, не требует источника внешнего питания. В пассивных преобразователях под воздействием входной величины меняется его электрический параметр (сопротивление, емкость, индуктивность и т.д.). Чтобы эти изменения электрических параметров стали видимым отображением исследуемого процесса, их необходимо преобразовать в пропорциональные изменения силы тока или напряжения. С этой целью преобразователь включается в электрическую измерительную схему, которая и выполняет такое преобразование.

Известно несколько видов измерительных схем: реостатная, потенциометрическая, мостовая. Схемы имеют различный характер зависимости между входным и выходным сигналами, обладают различной чувствительностью и степенью нелинейности характеристики, разной возможностью преобразования сигнала, введения различного рода компенсационных воздействий. На рисунке 1.1 показаны наиболее распространенные схемы (применительно к реостатному преобразователю).

Существенным недостатком реостатной схемы (рисунок 1 а) является наличие начального сигнала и значительная нелинейность характеристики. При увеличении значения сопротивления нагрузки R_H нелинейность уменьшается, но одновременно снижается чувствительность схемы. Потенциометрические схемы (рисунок 1 б, в) имеют характеристики, проходящие через начало координат, отличающиеся меньшей нелинейностью, степень которой зависит от соотношения сопротивлений преобразователя R и резистора R_H , а схема (рисунок 1 в) отслеживает и знак измеряемого воздействия.

Широкое применение получила схема, основанная на использовании четырехплечего измерительного моста (рисунок 1 г). Если для нее выполняется условие $R_1 \cdot (R_3 + R_{д2}) = R_2 \cdot (R_4 + R_{д1})$, то мост будет уравновешен и ток в измерительной диагонали равен нулю. Поскольку даже небольшое нарушение баланса



а – реостатная; б, в – потенциометрические (однотактная и двухтактная); г - мостовая
 Рисунок 1.1 – Схемы включения преобразователей

моста вызывает появление тока в измерительной диагонали, предусматривается возможность балансировки моста (цепочка $R_{\text{д}}$, $R_{\text{б}}$, включенная в одно из плеч моста). Резисторы $R_{\text{д1}}$ и $R_{\text{д2}}$ предохраняют мост от короткого замыкания при крайних положениях движка реостатного датчика.

Лабораторное оборудование

Основным оборудованием для выполнения работы является реостатный датчик и макетная плата.

Датчик (рисунок 1.2) выполнен из провода с высоким удельным сопротивлением, имеет выводы от крайних 1, 2 и средней 3 точек. По направляющей 6 перемещается движок 7, имеющий скользящий контакт со спиралью датчика и вывод 4 для подключения к схеме. Входным сигналом такого датчика является смещение движка, регистрируемое по шкале линейки 5. Полное сопротивление датчика составляет 56 Ом.

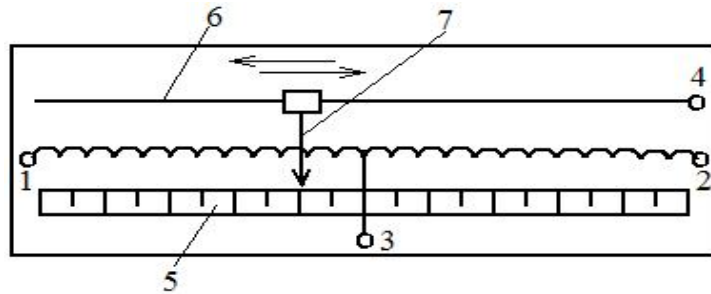


Рисунок 1.2 – Реостатный датчик

Макетная плата (рисунок 1.3) позволяет собирать исследуемые схемы. Для этого на ней установлены резисторы с гнездами для коммутации, имеются провода для

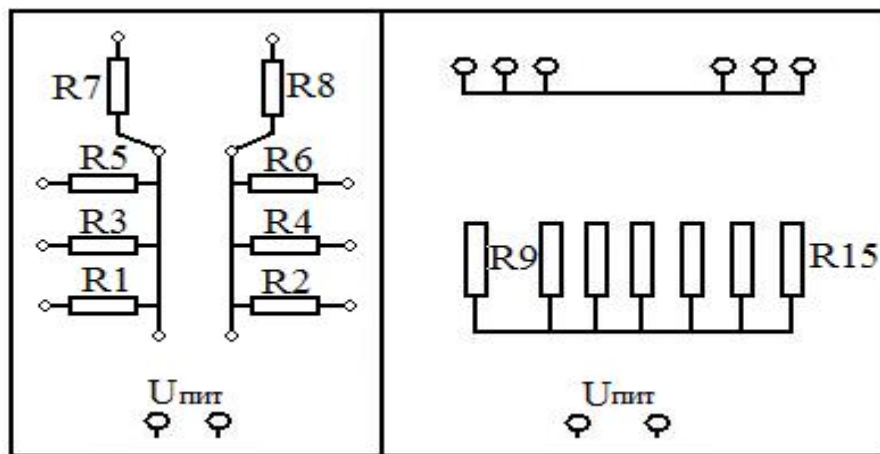


Рисунок 1.3 – Макетная плата

подключения источника питания и измерительного прибора. Левая часть схемы содержит элементы для мостовой схемы. Группа из 6 гнезд в правой верхней части позволяет при необходимости подключать в одну точку несколько проводов. Ниже приведены номинальные значения сопротивлений резисторов, установленных на плате, и их назначение (таблица 1.1).

Порядок выполнения работы

1 Используя макетную плату, реостатный датчик и измерительный прибор, выполнить коммутацию исследуемой схемы с одним из резисторов нагрузки.

2 Проверить правильность соединений элементов, установить напряжение питания источника тока в пределах 5...7 В и по разрешению преподавателя подключить источник питания к схеме.

3 Перемещая движок датчика, т.е. задавая различные входные воздействия (5...6 значений), зафиксировать показания измерительного прибора. Полученные данные занести в таблицы (таблица 1.2).

Таблица 1.1 - Перечень резисторов, установленных на макетной плате

Обозначение резистора	Сопротивление, Ом	Назначение в соответствии со схемами (рисунок 1.1 а-г)
R1, R2	51	R ₁ , R ₂ (рисунок 1.1 г)
R3, R4	100	
R5, R6	300	
R7, R8	270	
R9	10	R _н (рисунок 1.1 а-в)
R10	16	
R11	24	
R12	51	
R13	110	
R14	200	
R15	301	

Установить движок в исходное положение, подключить другое сопротивление нагрузки и повторить п. 3.

При исследовании мостовой схемы предварительно необходимо выполнить балансировку с использованием цепочки R_д, R_б, подключив ее к одному из плеч моста R₁ или R₂.

Таблица 1.2 – Результаты исследования _____ схемы

R _н , Ом					
X, мм	I, мА	X, мм	I, мА	X, мм	I, мА

Содержание отчета

Отчет составляется каждым студентом индивидуально и должен содержать следующее:

- 1 Используемые средства измерений и их характеристики.
- 2 Для каждой из исследуемых схем:
 - схему включения датчика;
 - таблицу с результатами измерений;
 - график зависимости $I = f(x)$.
- 3 Сравнительный анализ характеристик.

4 Предложения по возможному применению рассмотренных схем при испытании автомобиля.

Лабораторная работа №2

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ С ПОМОЩЬЮ ТЕРМОПАР

Цель работы: ознакомление с методикой температурных измерений с помощью термопар, приобретение навыков работы с измерительной аппаратурой.

Предварительные сведения

Температурой называют величину, характеризующую тепловое состояние тела. Температура не поддается непосредственному измерению, о её значении судят по изменении физических свойств тел.

Температуру измеряют с помощью устройств, использующих различные термометрические свойства жидкостей, газов и твердых тел. Существуют десятки различных устройств, применяемых в промышленности, при научных исследованиях и для специальных целей. В таблице 2.1 приведены наиболее распространенные устройства для измерения температуры и практические пределы их применения.

Таблица 2.1 - Приборы для измерения температуры

Термометрическое свойство	Наименование устройств	Пределы длительного применения, °С	
		нижний	верхний
Тепловое расширение	Жидкостные стеклянные термометры	- 190	600
Изменение давления	Манометрические термометры	- 160	600
Изменение электрического сопротивления	Электрические термометры сопротивления.	- 200	500
	Полупроводниковые термометры сопротивления (термисторы, терморезисторы)	- 90	180
Термоэлектрические эффекты (термо-ЭДС)	Термоэлектрические термометры (термопары)	- 50	1600
Тепловое излучение	Оптические пирометры,	700	6000
	радиационные пирометры,	200	3000
	фотоэлектрические пирометры	600	4000

Одним из самых распространенных методов измерения температуры является термоэлектрический метод, основанный на возникновении электродвижущей силы в цепи, составленной из разнородных проводников, при нарушении теплового равновесия (при неравенстве температур в местах соединения проводников).

Существует значительное количество материалов и в чистом виде, и в различных комбинациях, которые можно использовать в качестве термоэлектродов. Чтобы облегчить подбор материалов для термоэлектродов, их термоэлектрические свойства определяют по отношению к одному материалу - нормальному термоэлектроду. В качестве нормального термоэлектрода принята чистая платина. В таблице 2.2 приведены значения термо-ЭДС для некоторых материалов в паре с платиной при температурах рабочего конца $t = 100^{\circ}\text{C}$ и свободных концов $t = 0^{\circ}\text{C}$.

Таблица 2.2 - Значения термо-ЭДС некоторых материалов

Наименование	Состав (приблизительно)	Термо-ЭДС, мВ
Железо	Практически чистое	+1,80
Медь	Практически чистая	+0,75
Никель	Практически чистый	-1,49
Кобальт	Практически чистый	-1,80
Висмут	Практически чистый	-7,30
Олово	Практически чистое	+0,43
Золото	Практически чистое	+0,75
Серебро	Практически чистое	+0,72
Платинородий	90% Pt + 10% Rh	+0,64
Константан	60% Cu + 40% Ni	-3,35
Копель	56% Cu + 44% Ni	-4,05
Нихром	(75 ÷ 88) % Ni + (10 ÷ 20) % Cr + (2 ÷ 5) % Fe	+(1,6 ÷ 2,4)
Манганин	84% Cu + 13% Mn + 2% Al + 1 % Fe	+ 0,80
Алюмель	94,5 % Ni + 2% Al + 2% Mn + 1% Si + 0,5% Co	-1,20
Хромель	90,5 % Ni + 9,5 % Cr	+2,90

Термоэлектродвижущая сила цепи, составленной из двух проводников, равна алгебраической разности термо-ЭДС, развиваемых каждым проводником в паре с платиной.

Допускается применение технических термопар с металлическими термоэлектродами пяти типов (таблица 2.3).

Наибольшую термо-ЭДС из стандартных термопар имеет термопара «хромель-копель», поэтому в тех пределах, которые установлены для ее применения, использование этой термопары предпочтительно.

Таблица 2.3 - Параметры технических термопар

Типы термопар	Материалы термоэлектродов термопар	Предел применения, °С		
		Нижний	Верхний	
			Длительно	Кратковременно
ТПП	Платинородий (10% родия) - платина	- 20	1300	1600
ТПР	Платинородий (30% родия)-платинородий (6% родия)	300	1600	1800
ТХА	Хромель-алюмель	- 50	1000	1300
ТХК	Хромель-копель	- 50	600	800
ТНС	Сплавы НК-СА (никель-кобальтовый сплав, содержащий кремний и алюминий)	300	1000	1000

Для каждой из стандартных термопар по ГОСТ 3044-84 установлены градуировки для температур с интервалом в 1°С. В сокращенном виде стандартная градуировка для термопары ТХК приведена в таблице 2.4.

Таблица 2.4 - Градуировка термопары ТХК

°С	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	0	0,07	0,13	0,20	0,25	0,33	0,39	0,46	0,52	0,59
10	0,65	0,72	0,78	0,85	0,91	0,98	1,05	1,11	1,18	1,24
20	1,31	1,38	1,44	1,51	1,57	1,64	1,70	1,77	1,81	1,91
30	1,98	2,05	2,12	2,18	2,25	2,32	2,38	2,45	2,52	2,59
40	2,66	2,73	2,80	2,87	2,94	3,00	3,07	3,14	3,21	3,28
50	3,35	3,42	3,49	3,56	3,63	3,70	3,77	3,84	3,91	3,98
60	4,05	4,12	4,19	4,26	4,33	4,41	4,48	4,55	4,62	4,69
70	4,76	4,83	4,90	4,98	5,05	5,12	5,20	5,27	5,34	5,41
80	5,48	5,56	5,63	5,70	5,76	5,85	5,92	5,99	6,07	6,14
90	6,21	6,29	6,36	6,43	6,51	6,58	6,65	6,73	6,80	6,67
100	6,95	7,03	7,10	7,17	7,25	7,32	7,40	7,47	7,54	7,62

Получение стандартной градуировки термопар возможно лишь при высокой воспроизводимости физических свойств термоэлектродных материалов. Однако технология изготовления последних может обеспечить стабильность физических свойств только в отношении благородных металлов.

Поэтому для получения термопар с требуемыми допусками по термо-ЭДС применяется испытание термоэлектродных материалов (каждой бухты) с последующей разбивкой их на несколько групп, отличающихся по величине термо-ЭДС. Разбитые на группы материалы должны комплектоваться в термопары таким образом, чтобы алгебраическая разность термо-ЭДС, развиваемых каждым из термоэлектродов с платиной, была равна (в пределах допуска) установленной градуировке. При температуре, равной 300°C , допускаемая предельная погрешность для термопары «хромель-копель» составляет $\pm 0,2$ мВ.

На практике не всегда оказывается возможным провести испытание каждого термоэлектрода в паре с платиной. В этих случаях проводят непосредственную градуировку изготовленных термопар.

Измерение термо-ЭДС

Термо-ЭДС может измеряться либо прямым, либо компенсационным способом.

Измерение термо-ЭДС термопары прямым путем, по силе тока в цепи постоянного сопротивления, с помощью милливольтметра, можно осуществить сравнительно просто. Однако этот метод обладает рядом недостатков, создающих дополнительные погрешности, что в большинстве случаев не позволяет получить высокой точности измерения.

В измерительной технике, кроме прямых методов измерения, известны компенсационные методы или методы противопоставления неизвестной величины величине известной. Компенсационные методы позволяют провести измерение более точно, хотя и не всегда так просто, как прямое измерение.

Компенсационным методом измеряют термо-ЭДС по схеме, показанной на рисунке 2.1.

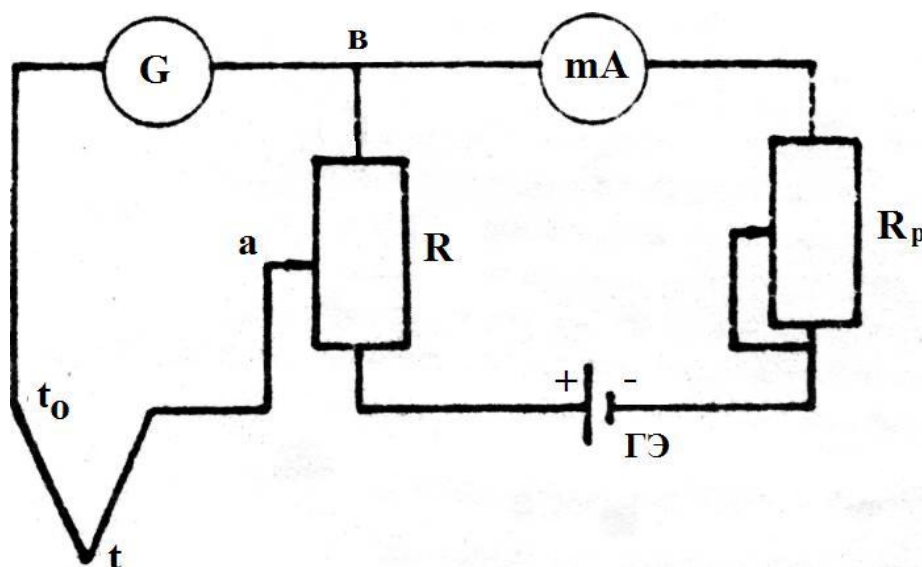


Рисунок 2.1 – Схема компенсационного метода измерений

Термо-ЭДС, развиваемая термопарой и равная $E(t, t_0)$, сравнивается с падением напряжения $\Delta U_{ав}$ на участке «ав» цепи от постороннего источника напряжения - гальванического элемента ГЭ (эта цепь называется компенсационной). Термо-ЭДС и падение напряжения $\Delta U_{ав}$ включены навстречу друг другу. Сила тока i в компенсационной цепи измеряется милливольтметром mA и изменяется с помощью сопротивления R_p .

Если $E(t, t_0) \neq \Delta U_{ав}$, то в цепи термопары возникает ток, обнаруживаемый по отклонению от нуля стрелки гальванометра G . Тогда, изменяя величину сопротивления участка «ав» или силу тока i , добиваются равенства $E(t, t_0) = \Delta U_{ав}$. Ток в цепи термопары не будет, и стрелка установится на нуле. После этого легко определить термо-ЭДС термопары:

$$E(t, t_0) = i \cdot R_{ав}$$

Для упрощения и облегчения измерений обычно принимают постоянными либо силу тока i , либо сопротивление R . Наибольшее распространение получили компенсационные приборы с постоянной силой тока в компенсационной цепи. Тогда измеряемая термо-ЭДС пропорциональна только сопротивлению $R_{ав}$.

$$E(t, t_0) = k \cdot R_{ав}$$

Сила тока i в компенсационной цепи пропорциональна напряжению $E_{ГЭ}$ гальванического элемента, которое, как известно, уменьшается с течением времени. Поэтому для поддержания постоянной силы тока приходится периодически контролировать ее с помощью стандартной меры электродвижущей силы - нормального элемента.

Основное преимущество компенсационного измерения термо-ЭДС по сравнению с прямым с помощью милливольтметра состоит в том, что в момент измерения ток в цепи термопары равен нулю. Это означает, что величина сопротивления внешней цепи не имеет значения: никакой подгонки сопротивления внешней цепи делать не надо и беспокоиться о влиянии температуры окружающей среды на внешнюю цепь нет необходимости.

Порядок выполнения работы

1 Тарировка термопары «хромель-копель»

Применяемые приборы: ртутные термометры с ценой деления $0,1^\circ C$, потенциометр КП-59. Тарировка производится путем погружения термопары в нагреваемую с помощью электрического подогревателя масляную ванну. С помощью одного термометра измеряется действительная температура масла, т.е. температура рабочего конца термопары. С помощью другого - температура свободных концов термопары, которыми являются клеммы потенциометра. Замеры производятся в пределах от температуры окружающего воздуха до

100°С через 5°С вначале при нагревании масла, а затем при его охлаждении. Результаты измерений заносятся в таблицу, затем по этим результатам строится тарировочный график.

Таблица 2.5 – Результаты тарировки термопары

$t_1, ^\circ\text{C}$	$t_2, ^\circ\text{C}$	$\Delta t, ^\circ\text{C}$	E, мВ	
			нагрев	охлаждение

Полученные результаты сопоставляются со стандартной градуировкой термопары «хромель-копель».

2 Тарировка однопроводной термопары для измерения перепада температур дифференциальным способом в токопроводящем материале

Термоэлектрическим методом удобно непосредственно измерять разность температур. Для этого достаточно соединить между собой одноименные термоэлектроды двух термопар, а два других термоэлектрода вывести на прибор (рисунок 2.2).

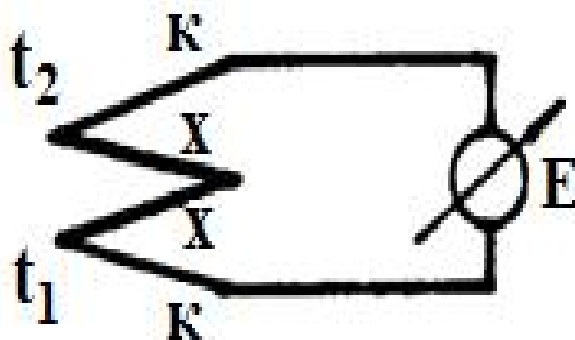


Рисунок 2.2 - Схема дифференциальной термопары

Однако таким способом нельзя измерить перепад температур в токопроводящем материале, т.к. в этом случае образуется новая постоянная замкнутая цепь, которая является источником паразитной термо-ЭДС. В то же время необходимость непосредственного измерения перепада температур в материалах с высокой теплопроводностью очевидна, т.к. нахождение этого перепада по разности измеренных раздельно температур в двух точках неизбежно связано с большой погрешностью (как определение разности близких величин). Непосредственное измерение перепада температур возможно только при использовании материала детали в качестве одного из термоэлектродов. Однако в этом случае необходимо получить тарировочный график термопары «материал детали – копель» (или любой другой термоэлектрод).

Тарировка такой термопары может быть проведена по следующей схеме (рисунок 2.3):

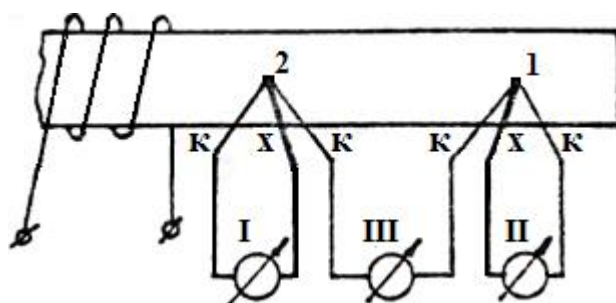


Рисунок 2.3 - Схема тарировки термопары «материал детали – копель»

Разность температур между точками 1 и 2 создается с помощью электронагревателя 3. Абсолютная температура в этих точках определяется с помощью потенциометров I и II, измеряющих ЭДС термопар «хромель-копель». Потенциометр III, на который выведены два копелевых провода, каждый из которых сварен в один рабочий спай с термопарами «хромель-копель», измеряет термо-ЭДС термопары «материал детали – копель». Тарировка производится путем одновременного снятия показаний со всех трех приборов при различной величине нагрева (разности температур между точками 1 и 2), которая регулируется с помощью реостата. Результаты измерений заносятся в таблицу 2.6. По результатам обработки измерений строится график $E = f(t)$. Для построения графика необходимо иметь не менее 20 точек.

Таблица 2.6 – Результаты тарировки термопары «материал детали – копель»

E_I	t_1	E_{II}	t_2	E	$t = t_1 - t_2$

Здесь E_I - показания потенциометра I, E_{II} - показания потенциометра II, E - показания потенциометра III.

Значения t_1 и t_2 определяются на основании измеренных значений E_I и E_{II} по построенному ранее тарировочному графику термопары «хромель-копель».

Содержание отчета

Отчет должен содержать краткие сведения об измерении температуры термоэлектрическим методом, описание проводимых опытов, схемы измерения, таблицы измерений 2.5 и 2.6 и тарировочные графики термопар «хромель-копель» и «материал детали – копель».

Лабораторная работа №3

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ ХРУПКИХ ПОКРЫТИЙ

Цель работы: изучение методики исследования напряженного состояния деталей автомобилей и мотоциклов методом хрупких покрытий, получение практических навыков в применении метода.

Оборудование и материалы: нагревательное устройство, осветитель, весы, микрометр, образцы деталей для исследования, канифоль, парафин, растворитель для очистки и обезжиривания деталей.

Предварительные сведения

Проведение исследований напряженного состояния деталей со сложной картиной распределения напряжений, например, элементов кузова или кабины автомобиля, требует предварительного получения качественной картины распределения напряжений и приближенного определения главных напряжений. Получаемая при этом информация используется при последующем тензометрировании деталей. Указанная задача может решаться с помощью метода хрупких покрытий.

Суть метода заключается в нанесении на поверхность детали тонкого покрытия специального состава, который растрескивается при деформировании детали под нагрузкой. Получаемая при этом картина трещин позволяет судить о характере напряженного состояния детали. Сам факт появления трещин в данной точке поверхности говорит о превышении здесь определенного уровня напряжений, а направление трещин указывает на линию действия главных сжимающих напряжений.

Для получения хрупких покрытий обычно применяют состав из канифоли с добавлением 0,5...2 % парафина. Положительным качеством такого состава является простота применения, но оно имеет достаточно высокий порог чувствительности (40...60 МПа), что требует создания больших нагрузок при исследовании деталей с использованием такого покрытия.

Покрытие удобно наносить в виде расплава на предварительно подогретую, очищенную и обезжиренную поверхность. Подбирая температурный режим, добиваются образования на детали тонкой равномерной пленки хрупкого покрытия. Перегрев поверхности приводит к образованию очень тонкой непригодной для исследований пленки, а при низкой температуре образуется толстое неравномерное покрытие, плохо сцепленное с поверхностью детали.

Нагрузку детали выполняют после её охлаждения. Оптимальной для работы с таким покрытием является температура окружающего воздуха 17...23°C и нормальная влажность. Понижение температуры вызывает саморастрескивание канифоли при охлаждении детали, а превышение рекомендуемых значений - увеличение порога чувствительности. К этому же приводит и повышенная влажность. Рекомендуется плавное увеличение нагрузки при исследовании детали, поскольку её ступенчатое увеличение с остановками для фиксирования картины образующихся трещин может дать искаженный результат из-за пластичности покрытия.

Достоинством покрытия является возможность его восстановления и повторного использования. Для этого необходимо нагреть покрытие до заплавления трещин и снятия внутренних напряжений. Таким образом, любое напряженное состояние детали может быть выбрано в качестве исходного для исследования, а само покрытие можно использовать как при нагрузке, так и при разгрузке детали.

Наблюдают за картиной образующихся трещин визуально, а их регистрация может проводиться зарисовкой или фотографированием. Лучшей видимости трещин

способствует высокая отражательная способность поверхности детали и использование осветителя. При правильном относительном расположении поверхности детали, осветителя и наблюдателя трещины становятся хорошо заметными.

Порядок выполнения работы

1 Приготовление состава для хрупкого покрытия.

Для нанесения хрупкого покрытия готовится состав, содержащий канифоль с добавлением парафина в количестве 0,5...2 %.

Пользуясь весами, подготовить необходимое количество канифоли и парафина так, чтобы общая масса состава была 10...15 грамм.

Нагреть в металлическом сосуде смесь канифоли и парафина до полного расплавления веществ и тщательно перемешать до получения однородного состояния.

2 Нанесение хрупкого покрытия.

Очистить и обезжирить поверхность детали растворителем. Замерить микрометром толщину детали.

Нагреть состав до перехода его в текучее состояние, подогреть деталь для нанесения покрытия.

Нанести состав на поверхность детали, добиваясь равномерного слоя покрытия. При необходимости оплавить поверхность нагревателем для получения покрытия без подтеков с гладкой поверхностью нужной толщины.

Охладить деталь до комнатной температуры (17... 23°C). Замерить толщину покрытия, которая должна быть в пределах 0,1...0,2 мм.

Нагрузить деталь, убедиться в появлении трещин при определенной нагрузке и отсутствии отслаивания покрытия.

3 Определение порога чувствительности покрытия.

По методике, изложенной в п. 2, нанести покрытие на поверхность балки равного сопротивления изгибу.

Зафиксировать начало появления трещин при постепенном нагружении балки. Записать полученное значение нагрузки.

Опыт повторить не менее 4...5 раз, используя одно и то же покрытие, заплывая после каждого испытания образовавшиеся трещины нагревателем.

4 Исследование картины напряженного состояния различных деталей.

Нанести хрупкие покрытия на детали, предлагаемые преподавателем.

Плавно нагружать детали до появления трещин и зарисовывать образующиеся картины.

В нескольких характерных точках изобразить векторы главных напряжений, предложить тип и схему включения тензорезисторов для тензометрирования исследуемых деталей.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым студентом и должен содержать:

- краткое описание метода определения напряженного состояния деталей с использованием хрупких покрытий;
- результаты замеров порога чувствительности хрупкого покрытия и их обработки;
- рисунки деталей с картиной образовавшихся трещин в хрупком покрытии;
- предлагаемые схемы тензометрирования исследованных деталей.

Лабораторная работа №4

КАЛИБРОВКА ТЕНЗОРЕЗИСТОРОВ

Цель работы: изучение методики тензометрирования деталей автомобиля и калибровки тензодатчиков, определение коэффициента тензочувствительности тензодатчиков.

Оборудование: балка равного сопротивления, потенциометр постоянного тока, источник питания.

Предварительные сведения

Тензометрирование (измерение с использованием тензорезисторов) позволяет получать информацию о любых величинах, действие которых может быть преобразовано в деформацию тензорезистора, наклеенного на исследуемую деталь или специальный чувствительный элемент. Наиболее часто тензометрирование при испытании автомобилей проводится с целью изучения напряжений в различных деталях. Для металлических деталей в пределах действия закона Гука имеется прямая связь между напряжением и изменением сопротивления тензорезистора.

$$\frac{\Delta R}{R} = S \frac{\sigma}{E},$$

где R - сопротивление недеформированного тензорезистора; ΔR – изменение сопротивления тензорезистора в результате деформации; S – коэффициент тензочувствительности тензорезистора; σ - изучаемые напряжения; E – модуль упругости первого рода материала детали.

Изменение сопротивления тензорезисторов, даже при достаточно высоких деформациях, не превышает десятых долей процента, поэтому прямые измерения (без использования усилителей) возможны только статических сигналов. Например, при $\Delta R = 0,2\%$, что соответствует $\sigma = 200$ МПа при деформации стальной детали, на которую наклеен тензорезистор, при четырех активных плечах мостовой схемы и напряжении питания 6 В на углах измерительной диагонали в режиме холостого хода (сопротивление измерительного прибора равно бесконечности) создается разность потенциалов всего 0,24 В.

Измерения слабых статических и быстропротекающих процессов требует использования тензоусилителя и осциллографа (или другого

регистрирующего прибора). Характеристики этих измерительных средств не отличаются высокой стабильностью и подвержены помехам.

Целью калибровки является получение значения коэффициента калибровки

$$K = \frac{\sigma}{A},$$

где K – коэффициент калибровки, σ – сигнал на входе измерительной схемы (измеряемая величина), A – сигнал на выходе измерительной схемы.

При калибровке σ рассчитывают или измеряют другим (более точным) прибором. Все параметры аппаратуры (положение переключателей, напряжение питания источника питания и др.) при калибровке и последующих измерениях должны быть неизменными. В зависимости от способа получения входного сигнала различают следующие виды калибровок: параметрическую, тензометрическую и электрическую.

При параметрической калибровке входным сигналом является известное значение измеряемой величины, прикладываемой к исследуемой детали в специальном приспособлении.

Входным сигналом при тензометрической калибровке служит точно измеренная деформация. Для её получения обычно используется балка равного сопротивления, на которую наклеиваются 10 % тензорезисторов от исследуемой партии. Полученные результаты калибровки статистически переносятся на остальные тензорезисторы партии, которые и используются при испытаниях.

При выполнении электрической калибровки входным сигналом является искусственно полученный разбаланс моста. Для этого параллельно одному из плеч мостовой схемы после её балансировки включается сопротивление известной величины (рисунок 4.1).

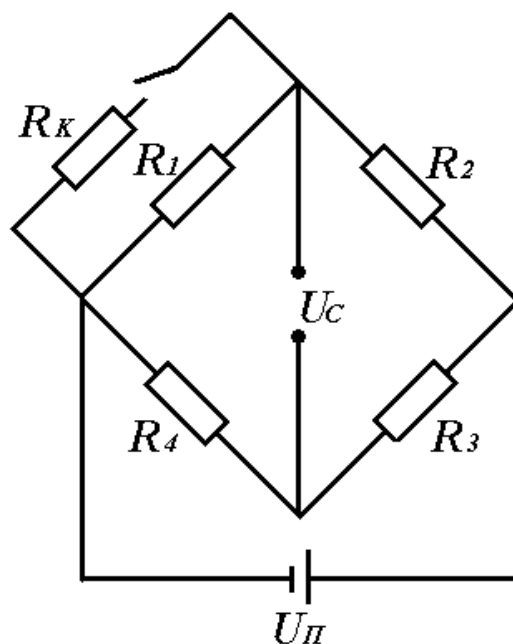


Рисунок 4.1 – Схема электрической калибровки

Калибровочное сопротивление R_k выполняется из стабилизированного манганина, сопротивление которого не зависит от температуры. При параллельном подсоединении изменяется сопротивление плеча моста R_1 и нарушается баланс мостовой схемы. Можно показать, что полученному разбалансу моста соответствует определенная деформация тензорезистора, наклеенного на деталь.

Изменение сопротивления плеча моста:

$$\Delta R = R_1 - \frac{R_k \cdot R_1}{R_k - R_1} = \frac{R_1^2}{R_k + R_1}.$$

Из этого выражения и основного уравнения тензоэффекта $\frac{\Delta R}{R} = S\varepsilon$ следует

$$\frac{R_1}{R_k - R_1} = S\varepsilon.$$

При известной величине сопротивления плеча моста R_1 и коэффициента тензочувствительности S имеется однозначная связь между деформацией ε и величиной калибровочного сопротивления R_k .

Электрическая калибровка часто используется с параметрической калибровкой для периодического контроля чувствительности тензометрических схем.

Лабораторное оборудование

Определение коэффициента тензочувствительности выполняется на калибровочном приспособлении, схема которого представлена на рисунке 4.2. Основу его составляет балка равного сопротивления изгибу, нагруженная силой P . Модуль упругости материала балки $E=2 \cdot 10^5$ МПа.

R_i – тензорезисторы, коэффициент тензочувствительности которых определяется;

R_j – набор сопротивлений для получения калибровочных сигналов; R_T – термокомпенсационный преобразователь.

Порядок выполнения работы

Порядок выполнения измерений следующий:

- испытываемые преобразователи R_i поочередно включаются в мостовую схему;
- с помощью переменного сопротивления R_6 производится балансировка измерительной схемы;
- включается первое сопротивление R_j и отсчитывают показания измерительного прибора;
- калибровочное сопротивление отключается и производится нагружение балки силой P до получения того же показания измерительного прибора;
- по величине нагрузки P и размерам балки определяется величина полученной при этом относительной деформации

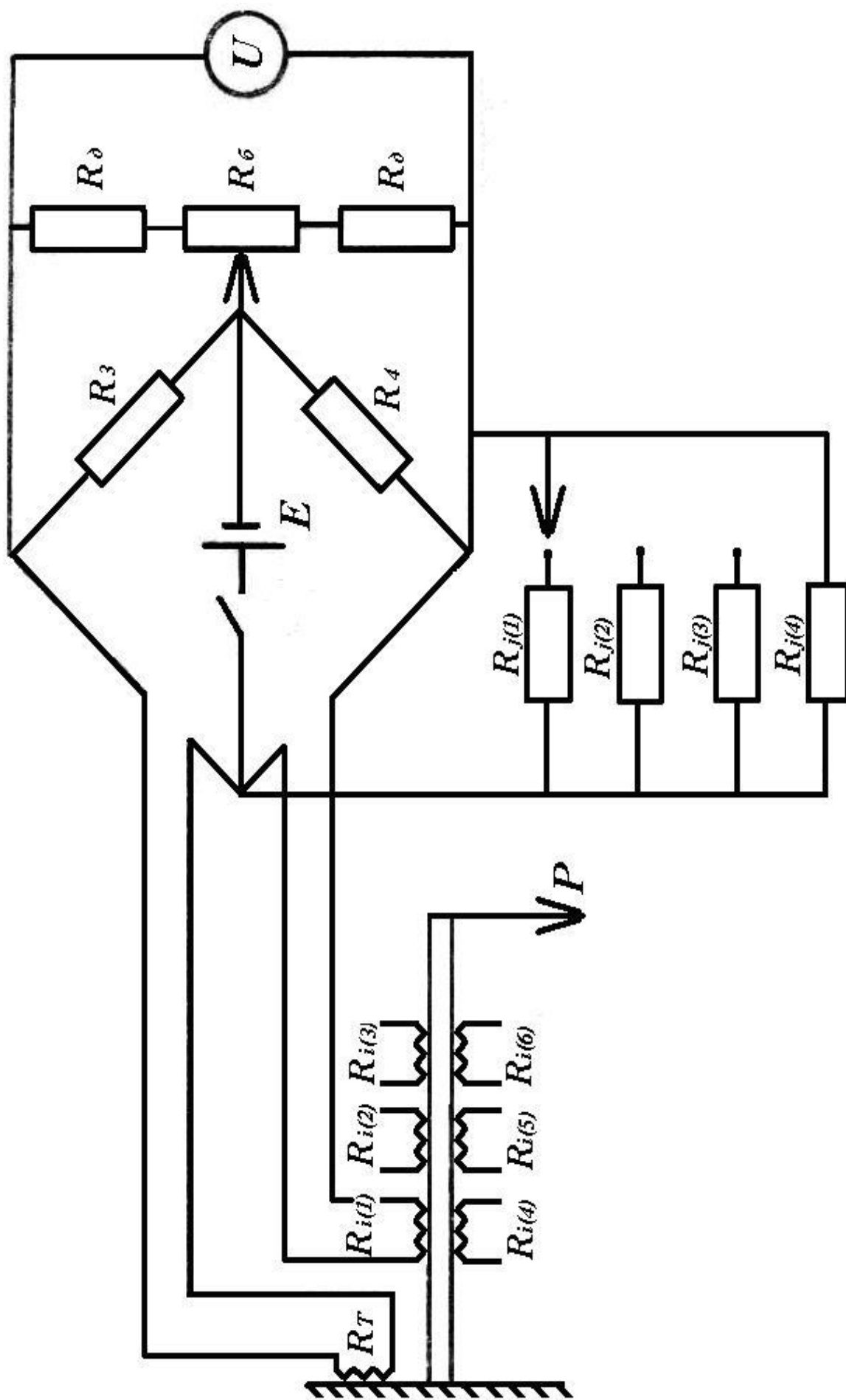


Рисунок 4.2 - Схема калибровочного приспособления

$$\varepsilon = \frac{P \cdot L}{W \cdot E},$$

где L – расстояние от места заделки балки до точки приложения силы P ,
 W - момент сопротивления изгибу у основания балки.

Для используемой балки равного сопротивления изгибу отношение L/W любого сечения постоянно и равно $1000000 \frac{1}{\text{м}^2}$, а величина L/WE соответственно равна $5 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{Н}}$. Результаты измерения занести в таблицу 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты измерений

R_i	R_j	$U, \text{мВ}$	$P, \text{Н}$	ε	$\Delta R, \text{Ом}$	$\frac{\Delta R}{R_i}$
R_1	J=1					
	2					
	3					
	4					
R_2	J=1					
	2					
	3					
	4					
R_3	J=1					
	2					
	3					
	4					

Обработка результатов экспериментов

По данным таблицы построить график $\frac{\Delta R}{R} = f(\varepsilon)$ и рассчитать следующие величины:

- значение коэффициента тензочувствительности тензорезисторов для каждого измерения

$$S_i = \left(\frac{\Delta R_i}{R} \right) / \varepsilon,$$

- среднее арифметическое значение коэффициента тензочувствительности для всей партии преобразователей

$$\bar{S} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i,$$

где n – количество выполненных измерений,
- среднеквадратическую погрешность величины коэффициента тензочувствительности тензорезисторов в партии

$$\sigma_s = \sqrt{\frac{1}{1-n} \sum_{i=1}^n (S_i - \bar{S})^2}.$$

Найденная величина \bar{S} и её среднеквадратическая погрешность принимаются действительными для всей партии преобразователей и используются при обработке результатов тензометрирования.

Содержание отчета

Отчет по лабораторной работе составляется индивидуально каждым студентом и должен содержать:

- краткие сведения о методике калибровки тензорезисторов;
- схему определения коэффициента тензочувствительности;
- таблицу с результатами измерений, график $\frac{\Delta R}{R} = f(\varepsilon)$ и результаты расчетов;
- заключение с анализом полученных результатов.

Дополнительные сведения

1 Подготовка тензодатчиков к наклейке. Осмотреть тензодатчики. Повреждение выводов, основы, защитной полоски, наличие заломов на площади, занятой решеткой, не допускается. Под местом пайки с нижней стороны основы тензодатчиков клеем БФ-2 подклеить полоску конденсаторной бумаги (8x10 мм), предварительно покрытую с обеих сторон клеем БФ-2 и просушенную не менее 2 часов.

2 Наклейка. Чистота обработки поверхности детали, предназначенной для наклейки тензодатчиков, должна быть не ниже 6 класса. Не следует зашлифовывать поверхность до зеркального блеска. Обезжиривание поверхности выполняется с помощью очищенного бензина или химически чистого ацетона. Тряпочку, которой протирают поверхность, меняют несколько раз до тех пор, пока она не будет оставаться совершенно чистой. Затем обезжиренный участок поверхности промывают спиртом и дают ему просохнуть в течение 5-10 мин.

В зависимости от типа тензодатчиков, условий работы конструкции применяют те или другие сорта клеев и технологию наклейки и сушки.

Наибольшее распространение для наклейки тензодатчиков получил клей БФ-2. На подготовленную поверхность наносят первый тонкий слой клея. Одновременно тонкий слой клея наносят и на обратную сторону тензодатчика, дают клею слегка просохнуть. Затем на деталь наносят второй слой и просушивают до момента схватывания. Сориентировав тензодатчик в направлении измеряемых деформаций, накладывают его на поверхность, прижимают через целлофан или полиэтиленовую пленку и прокатывают

резиновым валиком или приглаживают пальцами, а затем прижимают грузом или специальными струбцинами через легко деформируемую прокладку (резину, фетр, картон и др.).

Наклеенный тензорезистор просушивают в течение 30-40 мин при температуре 50-70⁰С. Признаком окончания просушки может служить увеличение сопротивления между металлической поверхностью и тензорезистором до 25-60 МОм.

Для снятия внутренних напряжений, уменьшения ползучести проводят дополнительную термообработку, которая заключается в нагреве и выдержке при температуре 120-140⁰С в течение 1-2 часов или сушке в нормальных условиях в течение 3-4 суток.

3 Герметизация наклеенных тензорезисторов. В качестве герметизирующих средств широко используются клеи, применяемые для наклейки тензорезисторов. Для герметизации клей наносится в 2-3 слоя. Каждый слой подвергают сушке и термообработке.

Сергей Сергеевич Гулезов

ИСПЫТАНИЯ АВТОМОБИЛЯ И ТРАКТОРА

Методические указания
к проведению лабораторных работ
для студентов специальностей 190201, 190109.65, направления 190100

Редактор О.Д. Постовалова

Подписано к печати
Печать трафаретная
Заказ

Формат 60*84 1/16
Усл. печ.л. 1,5
Тираж 60

Бумага тип. № 1
Уч.- изд. л 1,5
Цена свободная

РИЦ Курганского государственного университета.
640669, г. Курган, ул. Гоголя, 25.
Курганский государственный университет.