

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию

Томский политехнический университет

УТВЕРЖДАЮ: Декан ЭФФ

_____ Евтушенко Г.С.

« ____ » _____ 2005г.

425-N

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по подготовке и
выполнению лабораторной работы № 425 по
курсу "Методы и средства измерений" для
студентов специальности 190900.-
Информационно-измерительная техника и
технологии

ТОМСК 2005

УДК 621.317.39 (075.8)

Исследование тензометрических измерительных преобразователей. Методические указания по подготовке и выполнению лабораторной работы № 425 по курсу "Методы и средства измерений" для студентов специальности 190900 - "Информационно-измерительная техника и технологии". Томск, изд. ТПУ, 2000. - 17 с.

Составитель: Б.Б.Винокуров

Рецензент В.В.Вотяков

Методические указания рассмотрены и рекомендованы методическим семинаром кафедры информационно-измерительной техники 26.01.2005г.

Зав. кафедрой ИИТ _____ В.К.Жуков

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 425

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ В РАБОТЕ

- S_{m_i} – чувствительность тензопреобразователя (продольная тензочувствительность);
- R_{m_i} – номинальное значение сопротивления тензопреобразователя, Ом;
- $\pm \Delta R_{m_i}$ – приращение сопротивления тензопреобразователя при его деформации, Ом;
- l – активная длина проводящего элемента тензопреобразователя, м;
- Δl – приращение длины проводящего элемента тензопреобразователя при его деформации, м;
- ϵ_R – относительное изменение сопротивления тензопреобразователя;
- ϵ_l – относительная деформация;
- A – база тензопреобразователя, мм;
- B – ширина решетки тензопреобразователя, мм;
- S_{\perp} – поперечная тензочувствительность;
- S_m – чувствительность мостовой измерительной цепи, В/Ом (или А/Ом);
- S_{un} – чувствительность выходного прибора, Дел/В (или Дел/А);
- ФТП, ПТП и ППТП – соответственно фольговые, проволочные и полупроводниковые тензопреобразователи.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Электрические измерения неэлектрических величин. Под ред. П.В.Новицкого. – 5-е изд. – Л.: Энергия. 1975. – 576 с.
2. Левшина Е.С., Новицкий П.В. Электрические измерения физических величин. Измерительные преобразователи. – Л.: Энергоатомиздат. 1983. – 296 с.
3. Методы и средства натурной тензометрии: Справочник/М.Л.Дайчик и др. М.: Машиностроение, 1989. – 240 с.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Изучить свойства и характеристики тензопреобразователей.
2. Ознакомиться с назначением и областью применения тензопреобразователей.
3. Изучить основные схемы включения резистивных тензопреобразователей.
4. Ознакомиться с целью и программой работы.
5. Подготовить устные ответы на поставленные контрольные вопросы.

1. ЦЕЛЬ РАБОТЫ

1.1. Ознакомиться с принципом действия тензочувствительных преобразователей вообще и резистивных приклеиваемых тензопреобразователей, в частности.

1.2. Получить практические навыки определения основных параметров и характеристик тензочувствительных преобразователей.

1.3. Получить навыки практического использования тензопреобразователей для измерения неэлектрических величин.

2. ПРОГРАММА РАБОТЫ

2.1. Изучить лабораторную установку и входящие в ее состав объекты измерения и средства измерения.

2.2. Исследовать проволочные тензопреобразователи (ПТП).

2.2.1. Отградуировать ПТП и определить его продольную тензочувствительность.

2.2.2. Исследовать различные схемы включения ПТП на примере измерения сосредоточенных усилий или деформации упругой консольной балки.

2.3. Исследовать фольговые тензопреобразователи (ФТП).

2.3.1. Отградуировать ФТП и определить его продольную тензочувствительность.

2.3.2. Исследовать различные схемы включения ФТП на примере измерения сосредоточенных усилий или деформаций упругой консольной балки.

2.4. Исследовать полупроводниковые тензопреобразователи (ППТП).

2.4.1. Отградуировать ППТП и определить его продольную тензочувствительность.

2.4.2. Исследовать различные схемы включения ППТП на примере измерения сосредоточенных усилий или деформации упругой консольной балки.

2.5. Провести дополнительные исследования по усмотрению студента в соответствии с возможностями и комплектацией лабораторной установки.

2.6. Обработать экспериментальные данные и построить требуемые характеристики. Сформулировать частные и общие выводы по работе.

2.7. Представить полученные результаты в письменном отчете.

3. КРАТКИЕ СВЕДЕНИЯ ИЗ ТЕОРИИ

Тензометр – устройство, прибор для измерения деформации в твердых телах, возникающих под воздействием механических нагрузок. Традиционно применяются для исследования распределения деформаций и соответственно механических напряжений в деталях машин, механизмов и конструкций. □ Применяют различные по принципу действия

Применяют различные по принципу действия тензометры – механические, оптические, электромагнитные, резистивные и др. Наиболее широкое применение получили *резистивные тензометры*, в основе которых лежит использование *резистивных тензопреобразователей*, в дальнейшем просто тензопреобразователей (ТП).

Естественной входной величиной таких преобразователей является относительная деформация, естественной выходной – электрическое сопротивление.

Принцип работы ТП заключается в следующем. При воздействии на проводник длиной l и сопротивлением R механической нагрузкой F (растяжение или сжатие) происходит изменение его сопротивления на величину $\pm \Delta R$. Изменение сопротивления проводника объясняется двумя факторами: изменением геометрических размеров – длины и сечения и изменением удельного сопротивления (проводимости) материала проводника при его деформации. Тот же эффект наблюдается и при деформации элемента, выполненного из полупроводникового материала. В зависимости от того, какой материал используется для изготовления ТП, различают *тензопреобразователи проводниковые* и *полупроводниковые* (ППТП).

Группу проводниковых ТП составляют проволочные (ПТП) и фольговые (ФТП) тензопреобразователи. Устройство наиболее используемых ПТП показано на рис.1а.

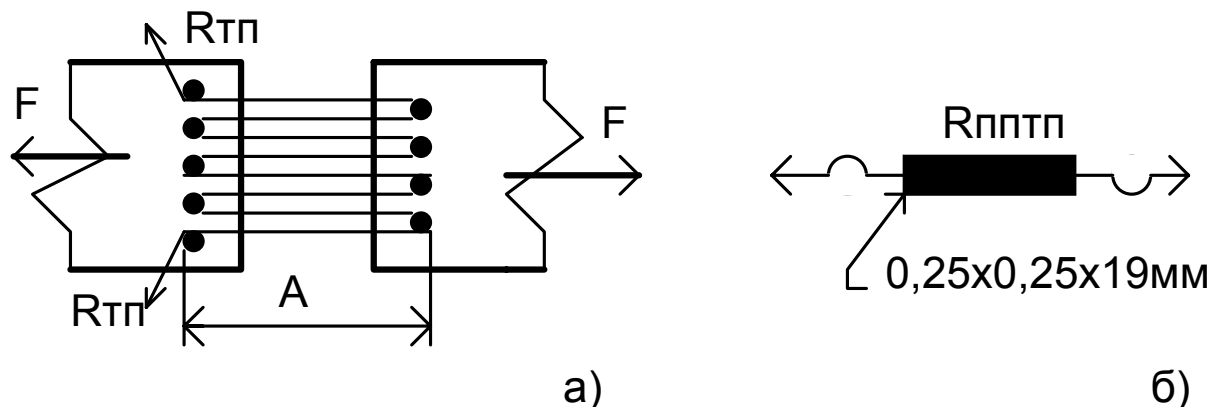


Рис. 1

На испытываемой детали (или деталях) установлены диэлектрические стойки, между которыми натягиваются и закрепляются петли из металлической проволоки с высоким удельным сопротивлением (константан, нихром, манганин и др.). В другом варианте (на рис. не показано) проволока, выполненная зигзагообразно в виде решетки, наклеивается на полоску тонкой бумаги. К концам проволоки пайкой или сваркой присоединяются выводные медные проводники. Такой преобразователь, будучи равномерно наклеенным на испытываемую деталь, воспринимает деформацию ее поверхностного слоя. Очевидно, что т.н. *наклеиваемые* ТП относятся к классу *одноразовых* ТП и повторное их использование нежелательно.

Однако наиболее широкое применение получили *фольговые* тензопреобразователи, рабочими элементами которых являются фольговые проводники. Технология изготовления фольговых ТП аналогична той, которая применяется для изготовления печатных плат в электронной промышленности (рис.2). При этом используется фольга из материала с высоким удельным сопротивлением и толщиной 4÷12 мкм.

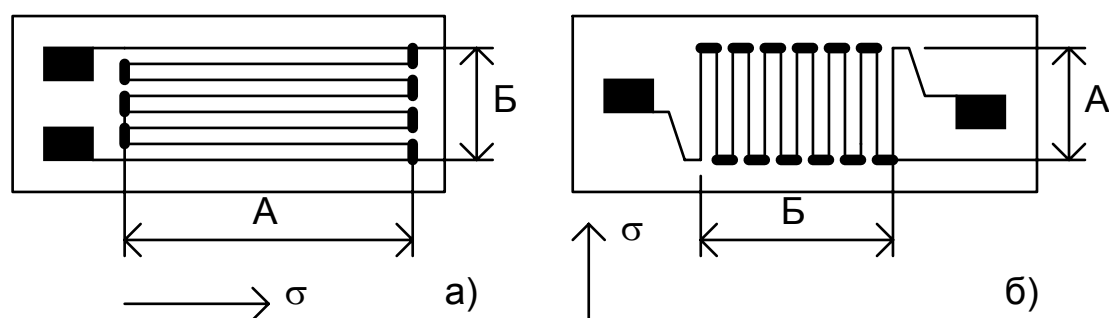


Рис. 2

Основные преимущества фольговых ТП перед проволочными ТП:

- прямоугольное сечение фольговых проводников обеспечивает лучшие условия для теплоотдачи, что позволяет увеличивать ток через ТП и тем самым увеличивать чувствительность измерительной цепи;

- фотоспособ, применяемый для изготовления фольговых ТП, позволяет проектировать ТП практически любой конфигурации. На рис.3 показан пример такого ТП, например, для измерения механических моментов. ТП наклеиваются на поверхность скручиваемого упругого вала. При этом два ТП, находящиеся на общей подложке и ориентированные между собой взаимно перпендикулярно, реагируют на соответствующие составляющие деформаций ϵ_1 и ϵ_2 .

Полупроводниковые ТП выполняют, как правило, из кристаллических полупроводников.

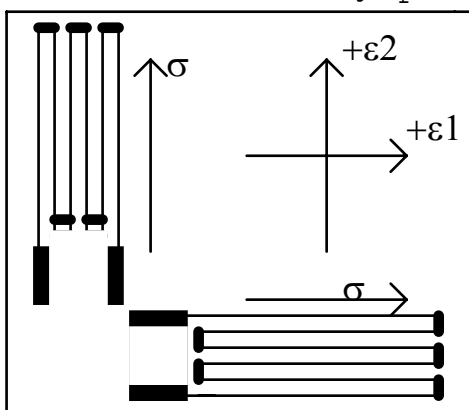


Рис. 3

Наиболее сильно изменяется сопротивление при деформации германия, кремния, арсенида галлия и др., что и предопределило их широкое использование. Сам преобразователь представляет брусок из ПП малых размеров с вплавленными в его концы

тонкими проводниками из никеля, золота или серебра (0.1мм, рис.1б).

Полупроводниковые тензопреобразователи (ППТП) обладают значительно большей чувствительностью к деформациям (см. табл.1). Они дороже проводниковых ТП, значительно сильнее подвержены действиям температуры и внешнего магнитного поля.

Из сказанного ясно, что наиболее массовыми для практического применения являются фольговые тензопреобразователи.

Основными метрологическими характеристиками ТП являются:

1. Значение продольной тензочувствительности

$$S_{mn} = \frac{\Delta R / R}{\Delta l / l} = \frac{\epsilon_R}{\epsilon_l};$$

2. База ТП -А (см. рис.1 и 2) - длина петель решетки;

3. Ширина решетки -Б (см. рис.2);

4. Номинальное сопротивление ТП - R_{mn} ;

5. Значение поперечной тензочувствительности S_{\perp} - чувствительности тензопреобразователя в направлении, перпендикулярном рабочему положению;

6. Ползучесть - постепенное уменьшение воспринимаемой тензопреобразователем деформации при постоянном значении деформации детали;

7. Температурное приращение сопротивления.

В табл.1 приведены значения основных параметров ТП.

Таблица 1

	Проволочные ТП	Фольговые ТП	Полупроводн. ТП
$S_{m\perp}$	2÷2.5	1.9÷3.0	-130÷170
А.мм	3÷100	3÷100	0.25×0.25×19*
Б.мм	5÷20	5÷20	---
S_{\perp}	(0.25 ÷ 1.0)% от S	0	---
R_{mn} , Ом	10÷1000	10÷1000	100÷50 000
$\epsilon_{\text{макс}}$	1	2	0.2÷1.0
Температ. коэфф. сопротивления α_{Rmn}	$5 \cdot 10^{-6} \div 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-6} \div 10^{-4}$	$0.8 \cdot 10^{-3} \div 4 \cdot 10^{-3}$

*Пример одного из типов полупроводникового ТП

Для измерения деформаций или механических напряжений ТП наклеивают на испытуемые детали или конструкции.

Для целевого измерения сосредоточенных усилий (силы), механических моментов (крутящий момент, вращающий момент и др.) и давлений ТП наклеивают на вспомогательный упругий элемент, воспринимающий измеряемую механическую величину. При этом деформация упругого элемента, вызываемая воздействующей нагрузкой (силой, моментом, давлением), приводит к деформации тензопреобразователя.

Так, например, для измерения сосредоточенных усилий используют упругие цилиндры с различным сечением (рис. 4а), упругое кольцо (рис. 4б), упругую консольную балку (рис. 4в) и др.

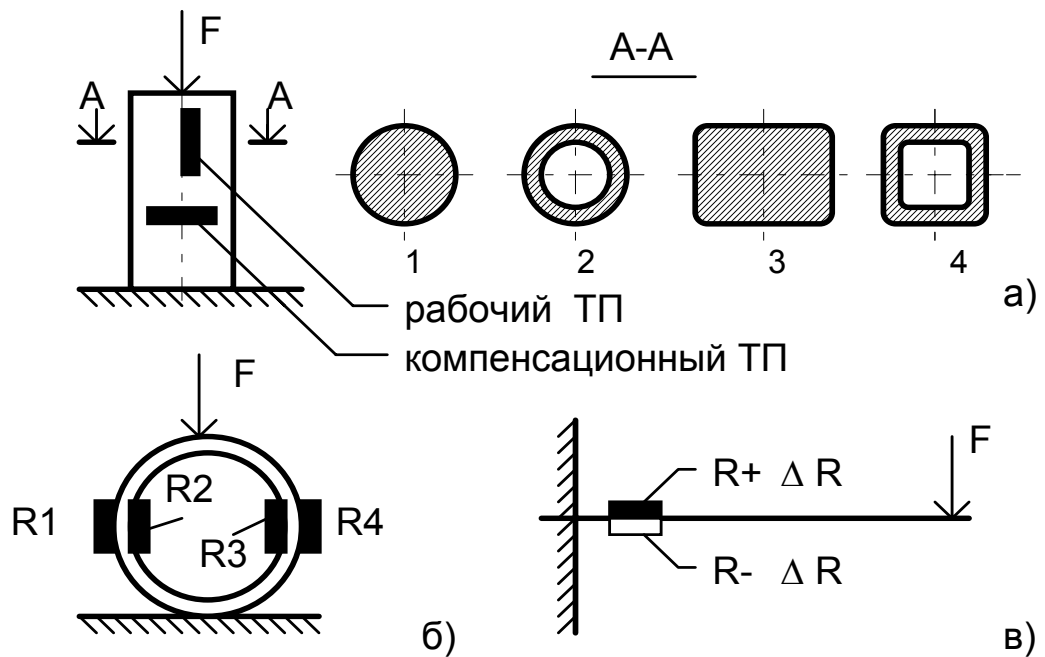


Рис. 4

Обычно ТП включают в мостовые измерительные схемы (рис.5). Мостовые схемы, в свою очередь, могут быть *равновесными* и *неравновесными*.

Равновесные схемы чаще применяются для точных измерений механических величин или для градуировки ТП, т.е. установления зависимости $\frac{\Delta R}{R} = f\left(\frac{\Delta l}{l}\right)$ или $\epsilon_R = f(\epsilon_l)$ и определения коэффициента тензочувствительности. При этом основополагающим является условие равновесия мостовой схемы, которое записывается как $R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$.

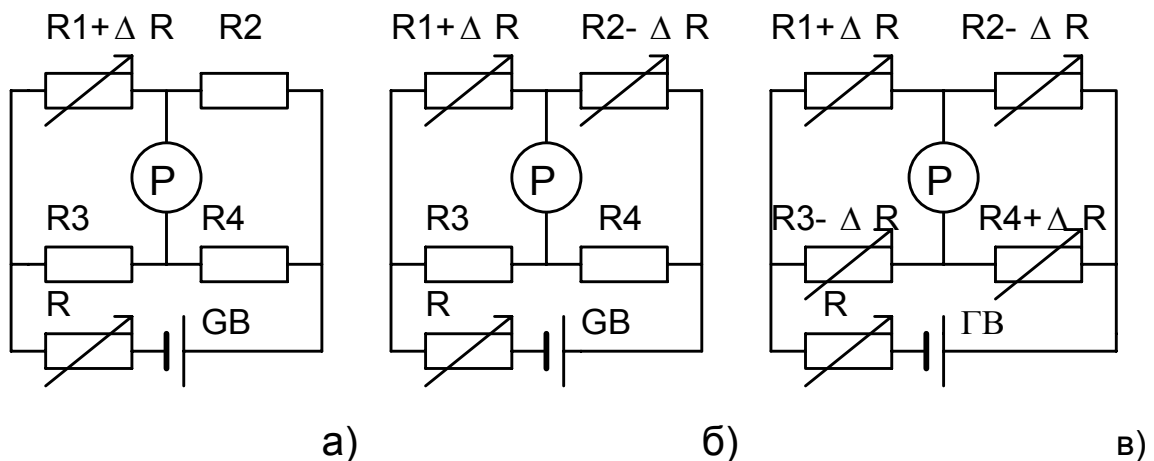


Рис. 5

В неравновесных мостовых схемах изменение сопротивления ТП $\pm \Delta R$ преобразуется в напряжение или ток выходной диагонали моста. Применение мостовых измерительных схем позволяет просто осуществлять компенсацию температурной погрешности ТП, реализуя дифференциальное их включение. Для этого два одинаковых

ТП (R_1 и R_2 на рис.5б) включают в смежные плечи моста, один из которых (R_1) – рабочий – воспринимает измеряемую деформацию, другой (R_2) – компенсационный, поставленный в одинаковые с рабочим ТП тепловые условия, не воспринимающий деформацию или воспринимающий деформацию противоположного знака ($-\Delta R$). В последнем случае чувствительность мостовой цепи (рис.5б) удваивается по сравнению со схемой включения, показанной на рис.5а.

На рис.5в представлена мостовая схема включения 4-х ТП. При их подключении необходимо выполнять условие, что преобразователи, расположенные в противоположных плечах, воспринимают деформации одного знака, а ТП, расположенные в смежных плечах – деформации противоположного знака. Причем, для лучшей компенсации температурной погрешности, учитывая, что разброс сопротивлений тензорезисторов может достигать $\pm 20\%$, необходимо, чтобы все четыре плеча имели близкие по значению номинальные сопротивления.

Существует еще ряд практических методов температурной компенсации и улучшения линейности преобразования[1÷3].

4. КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

4.1. На чем основан принцип действия тензорезистивных преобразователей?

4.2. Что такое коэффициент тензочувствительности ТП?

4.3. Что такое поперечный коэффициент тензочувствительности?

4.4. Причины возникновения погрешностей ТП?

4.5. Дать классификацию резистивных ТП.

4.6. Что значит *отградуировать* ТП?

4.7. Рассмотреть схемы и правила включения ТП.

4.8. Основное назначение упругих элементов при измерении механических величин с применением ТП?

4.9. Рассмотреть режимы работы мостовых измерительных схем и в каких случаях эти режимы используются?

5. ОБЪЕКТЫ ИЗМЕРЕНИЯ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ

Лабораторный макет (рис.6) предназначен для исследования фольговых, проволочных и полупроводниковых тензопреобразователей. Все объекты исследования и средства измерения размещены в сдвоенном корпусе стандартной конструкции. В верхнем блоке расположена консольная балка с наклеенными на ней фольговыми, проволочными и полупроводниковыми тензопреобразователями и электромеханической системой ее нагружения и разгружения. Здесь же установлены цифровой индикатор "Нагрузка", индицирующий значение сосредоточенного усилия в ньютонах (Н) и цифровой индикатор равновесия мостовой

измерительной схемы. Мост может быть уравновешен с использованием переключателя S2 и регулировок "Грубо - плавно". В нижнем блоке собраны все измерительные схемы. Выбор типа тензопреобразователя и схем их включения осуществляется соответственно комбинацией положений переключателей "Тип ТП" (S3) и "Схема" (S4) (варианты включения ТП в плечи моста приведены в табл.2). Положениям переключателя "Тип ТП" (S3) соответствуют следующие типы преобразователей: "1"- фольговые, "2"- проволочные и "3"-полупроводниковые.

Процесс нагружения и разгружения упругой консольной балки до заданной нагрузки проводят следующим образом. С помощью переключателя S1 выбирают режим "нагр." или "разгр.", что соответствует режимам нагружения и разгружения балки. Нажав кнопку "Пуск", наблюдают за изменением показания цифрового индикатора "Нагрузка, Н".

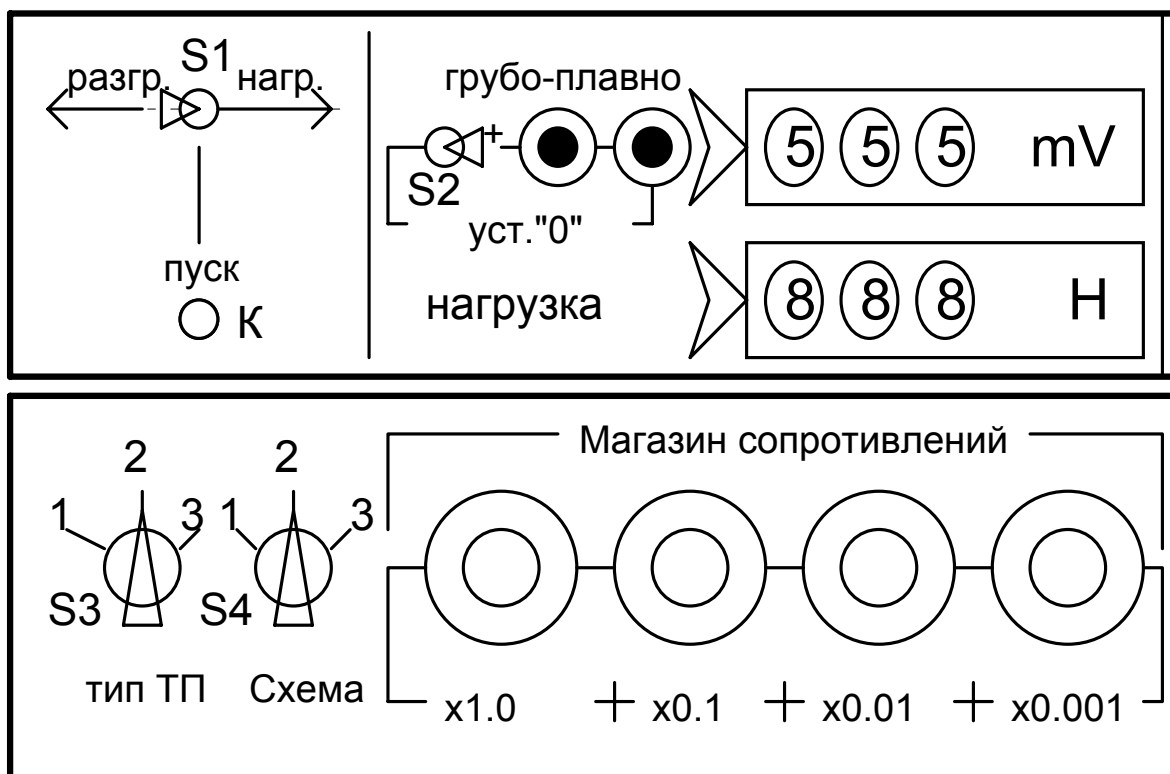


Рис. 6

Таблица 2

Положение S4	R1	R2	R3	R4	Вид схемы
1	R_{m1}				Рис. 5а
2	R_{m1}	R_{m2}			Рис. 5б
3	R_{m1}	R_{m2}	R_{m3}	R_{m4}	Рис. 5в

В обоих режимах работы устройства предусмотрено автоматическое отключение процесса нагружения при

достижении номинальной нагрузки. Для запуска устройства необходимо переключатель S1 переключить в обратное положение и продолжить работу в установленном порядке.

ВНИМАНИЕ!
По окончании работы балка должна быть полностью разгружена.

Сама балка имеет профиль, соответствующий понятию "Балка равного сопротивления". В этом случае при ее нагружении по всей поверхности упругого элемента механическое напряжение одинаково, материал используется наиболее рационально, а преобразователи можно наклеивать практически в любом месте, соблюдая при этом лишь правило направленности. На рис. 7 показано расположение ТП в соответствии с их положением на принципиальной мостовой схеме, безотносительно к типу ТП.

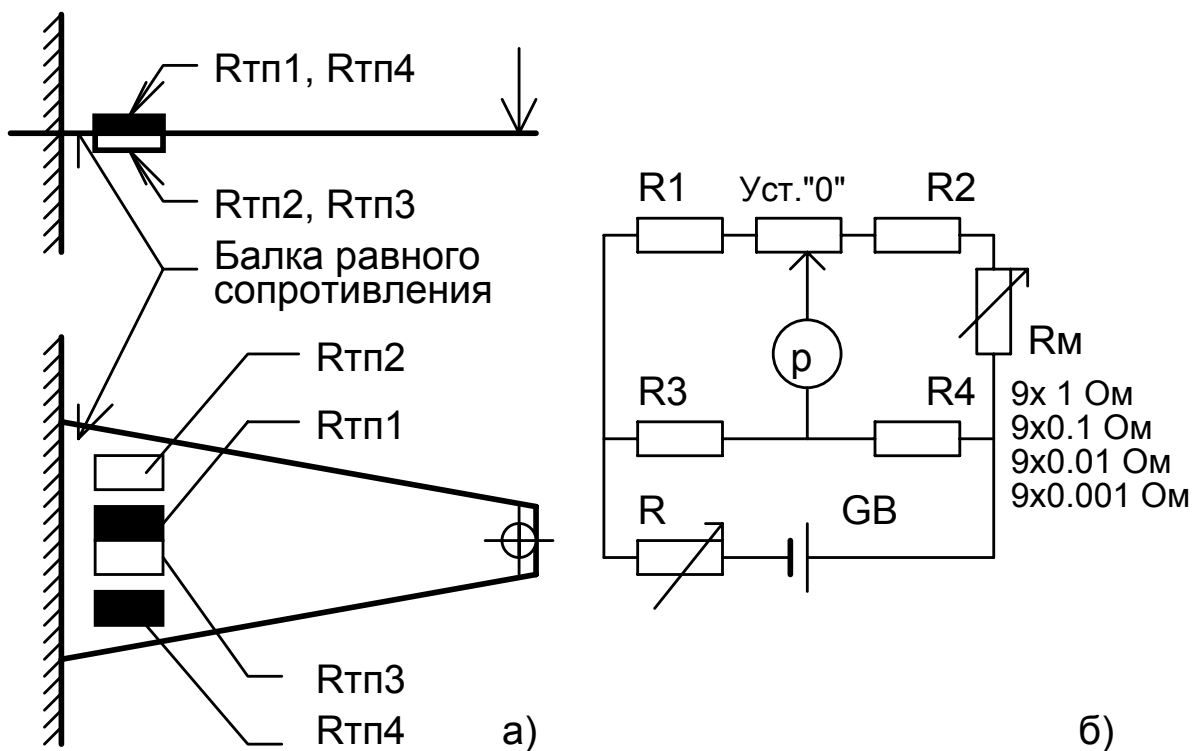


Рис. 7

В схеме рис. 7, б "р" - цифровой индикатор "mV". "R_м" - четырехдекадный магазин сопротивлений, использование которого определяется программой работы.

6. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ВЫПОЛНЕНИЮ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

6.1. Подготовка макета к работе.

6.1.1. Включить шнур питания макета в сеть 220В, 50Гц.

6.1.2. Включить кнопку "Сеть".

6.1.3. Установить исходное положение регулировок макета, для чего:

- полностью разгрузить балку (см. раздел 8);
- значение R_M (сопротивление магазина сопротивлений) установить равным "0";
- тумблер S_3 установить в положение "1";
- тумблер S_4 установить в положение "1";
- убедиться, что при регулировке элементов S_2 – («грубо»-«плавно») показания цифрового индикатора "mV" изменяются и могут принимать нулевые значения.

6.2. Исследование фольговых тензопреобразователей ($R_{фmr}=50.5$ Ом).

6.2.1. Отградуировать ФТП (конкретно- R_{mnl}), используя равновесный режим работы мостовой схемы, для чего сначала определить зависимость $\frac{\Delta R_{mnl}}{R_{mnl}} = f(\frac{\Delta l}{l})$ или $\epsilon_R = f(\epsilon_l)$.

Для этого:

- уравновесить мостовую измерительную цепь (в дальнейшем - "мост") при механической нагрузке на балку, равной $F=0$;
- нагрузить балку усилием $F=10$ Н;
- изменяя значения R_M , вновь добиться равновесия моста;

- определить приращение ΔR_{1mn} , используя условие равновесия моста (см. рис.7б) в виде $(R_{1mn} + \Delta R_{1mn}) \cdot R_4 = (R_2 + R_M) \cdot R_3$. откуда приращение $\Delta R_{1mn} = \frac{R_M \cdot R_3}{R_4}$ (при $F=0$, значение сопротивления $R_{фmr}=50.5$ Ом;

- устанавливая последующие i -тые значения нагрузки F_i через каждые 10Н, аналогично определить соответствующие значения приращений сопротивлений ΔR_{1mni} .

Расчет относительной деформации ϵ_l производится, исходя из геометрических параметров балки, механических свойств материала балки и действующей нагрузки, следующим образом.

$$\epsilon_l = \frac{6F \cdot l}{E \cdot b \cdot h^2}$$
, где F - действующая нагрузка, Н; l - длина балки, м; b -ширина балки, м; h - толщина балки, м ($l=0.235$ м, $b=0.060$ м, $h=0.003$ м); E - модуль упругости материала балки (для титана $E=110$ ГПа= $110 \cdot 10^9$ Па).

По результатам эксперимента определить коэффициент тензочувствительности S_{mi} . Данные экспериментов и расчетов внести табл.3.

Таблица 3

Нагрузка F, Н	F1	F2	F3		Fn
R_{Mi} , Ом					
ΔR_{mni} , Ом					
$\Delta R_{mn} / R_{mn}$					
ϵ_l					
S_{mi}					

Построить зависимость $S_{\phi mn} = f(F)$.

6.2.2. Определить и построить *проходные характеристики* мостовой измерительной цепи с включенными (три варианта - в табл.2) в ее плечи фольговыми ТП(S3→"1"). Проходная характеристика в данном случае - это зависимость вида $U_{вых} = f(F)$, где $U_{вых}$ - значение напряжения на выходе моста и F- значение нагрузки (силы), а мост работает в *неравновесном режиме*.

Для выполнения данного пункта работы по первому варианту (табл.2) необходимо:

- сопротивление магазина R_m установить, равным "0";
- убедиться, что переключатель S4 установлен в положении "1";
- уравновесить мост при начальной нагрузке, равной "0";
- *нагружая* балку через 10Н, каждый раз регистрировать значения выходного напряжения на выходе моста; *
- *затем, разгружая* балку через 10Н, вновь каждый раз регистрировать значения выходного напряжения моста; *

* (Последние действия обусловлены наличием гистерезиса проходной характеристики и необходимостью получения усредненных параметров. По той же причине рекомендуют определять указанные характеристики для нескольких циклов "нагружение - разгружение". В работе ограничиться двумя такими циклами).

- для каждого значения нагрузки усреднить выходное напряжение, как

$$U_{вых} = \frac{U_{1н} + U_{1р} + U_{2н} + U_{2р}}{4}.$$

Результаты экспериментов и расчетов внести в табл. 4. Построить:

- проходную характеристику с учетом гистерезиса для одного из циклов;

- характеристику вида $U_{\text{вых.ср}} = f(F)$.

Определить и построить зависимость чувствительности мостовой цепи, как $S_M = \frac{\Delta U}{\Delta F} \approx \frac{dU_{\text{вых}}}{dF}$ от значения приложенной нагрузки $S_M = f(F)$.

Проделать те же действия при положениях "2" и "3" переключателя S4, заполнив соответственно таблицы 5 и 6, аналогичные табл. 4.

Характеристики вида $U_{\text{вых.ср}} = f(F)$ для всех трех схем включения представить на общем графике и дать им сравнительный анализ.

Таблица 4

Нагрузка, Н	F1	F2	F3		Fn
$U_{1н}$ - нагружение →					
$U_{1р}$ - разгружение ←					
$U_{2н}$ -нагружение →					
$U_{2р}$ -разгружение ←					
$U_{\text{ср}}$, В					
S_M , В/Н					

6.3. Исследование проволочных тензопреобразователей ($R_{\text{нмн}}=200$ Ом).

6.3.1. Отградуировать ПТП (при S3→"2"). Для выполнения данного пункта программы необходимо воспользоваться указаниями и рекомендациями п. 9.2.1. настоящих указаний. Результат работы представить в виде экспериментальных и расчетных данных, внесенных в табл.7, аналогичную табл.3. Построить зависимость вида $S_{\text{нмн}} = f(F)$.

6.3.2. Определить и построить проходные характеристики мостовой цепи с включенными в ее плечи проволочными ТП.

Для получения этих характеристик необходимо руководствоваться указаниями, предлагаемыми в п. 9.2.2.

Результаты работы представить в виде экспериментальных и расчетных данных, внесенных в табл. 8, 9 и 10, аналогичных табл. 4 и характеристик, аналогичных п. 9.2.2.

6.4. Исследование полупроводниковых ТП ($R_{nnnn}=300$ Ом) .

ВНИМАНИЕ! Программу выполнения данного раздела предлагается определить и выполнить студенту – экспериментатору самостоятельно. За основу взять программы выполнения п.п. 9.2. и 9.3. В качестве вводных данных следует лишь указать, что на упругой балке имеется только один ПТП, закреплен он на нижней поверхности балки и включен на месте резистора R3 (рис.7б) .

6.5. Дать сравнительную оценку продольной тензочувствительности для всех трех представленных в работе тензопреобразователей.

Еще раз напоминаем, что после выполнения программы работы, необходимо:

- | |
|---|
| <ul style="list-style-type: none">- обязательно разгрузить балку;- выключить кнопку "Сеть";- отсоединить шнур питания от сети 220В;- навести порядок на рабочем месте. |
|---|

7. СОДЕРЖАНИЕ ОТЧЕТА

7.1. Титульный лист с указанием названия университета, названия кафедры, номера и наименования работы, исполнителей и даты выполнения работы.

7.2. Цель работы.

7.3. Программа работы.

7.4. Схемы экспериментальных установок.

7.5. Таблицы, основные соотношения.

7.6. Примеры расчетов.

7.7. Графики зависимостей.

7.8. Выводы по отдельным пунктам работы и общие выводы.

7.9. Таблица приборов, использованных в работе, с указанием названия прибора, его предела измерения, основной приведенной погрешности.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕНЗОМЕТРИЧЕСКИХ
ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

Методические указания по Подготовке и
выполнению лабораторной работы №425 по курсу
"Методы и средства измерений" для студентов
специальности 19.09 – Информационно-
измерительная техника и технологии

Составитель : Б.Б.Винокуров

Рецензент: В.Ф.Вотяков

Подписано к печати _____
Формат 60x84/16. Бумага №2.
Плоская печать. Усл.печ.л. __. Уч.-изд.л. ____
Тираж _____ экз. Заказ № _____ Бесплатно.
Ротапринт ТПУ.634050, Томск, пр. Ленина, 30.