



ДОНСКОЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
УПРАВЛЕНИЕ ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ И ПОВЫШЕНИЯ  
КВАЛИФИКАЦИИ

Кафедра «Приборостроение»

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**  
к лабораторным работам по дисциплинам

**«Измерительные  
преобразователи и  
датчики», «Система измерений  
в медико-биологической  
практике»**

Автор  
Цыбрий И.К.

Ростов-на-Дону, 2014



## Аннотация

Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплинам «Измерительные преобразователи и датчики» направления 200100.62 и «Система измерений в медико-биологической практике» направления 201000.62 – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ. 2014. – 34 с.

## Автор

к.т.н., доцент  
Цыбрий И.К.





## Оглавление

<b>Лабораторная работа № 1 Изучение и поверка манометров</b>	<b>4</b>
<b>Лабораторная работа № 2 Поверка индуктивного преобразователя линейных перемещений .....</b>	<b>11</b>
<b>Лабораторная работа № 3 ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ И ПОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ .....</b>	<b>19</b>
<b>Лабораторная работа № 4 ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ .....</b>	<b>26</b>
<b>Лабораторная работа № 5 ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ДАТЧИКОВ НА ИХ ОСНОВЕ .....</b>	<b>33</b>

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1

### ИЗУЧЕНИЕ И ПОВЕРКА МАНОМЕТРОВ

#### 1. Цель работы

Целью работы является ознакомление с принципом действия и устройством манометра с трубчатой пружиной и грузопоршневого манометра; плучение навыков поверки технического маносетра.

#### 2. Конструкция и принцип действия манометров



Рисунок 1

Манометры с одновитковой трубчатой пружиной (трубкой Бурдона) широко применяют для измерения давления (рис. 1). Запаянная с одного конца одновитковая трубчатая пружина эллиптического или овального сечения закреплена другим концом в держателе б, соединенном с сосудом или трубопроводом, в котором измеряется давление. Под действием давления сечение трубки 1 стремится принять круглую форму, вследствие чего она разворачивается на величину, пропорциональную давлению. При снижении давления до

атмосферного трубка принимает первоначальную форму.

Свободный конец трубки через поводок 2 поворачивает зубчатый сектор 3 и вместе с ним стрелку 4. Спиральная пружина 5 служит для устранения влияния зазора в зубчатом зацеплении.

С одновитковой трубчатой пружиной выпускают приборы следующих типов: технические, контрольные и образцовые.

Технические манометры выпускают с классом точности 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 на интервал давления от 0,6 до 1600 кгс/см<sup>2</sup> и более в корпусах, имеющих диаметр от 40 до 400 мм.

Контрольные манометры являются переносными и служат для периодических более точных замеров давлений, а также для проверки технических манометров на месте их установки.

Образцовые пружинные манометры (класс точности 0,16; 0,25; 0,4) применяют для поверки технических и контрольных манометров, а

## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике

также для измерения давления в лабораториях, когда необходимы особо точные показания. Шкала образцового манометра разделена на 300 или 100 равных делений. Каждый манометр должен быть снабжен аттестатом с градуированной характеристикой и поправками.

С одновитковой трубчатой пружиной могут изготавливаться: манометры (нуль шкалы слева, деление шкалы в кгс/см<sup>2</sup>), мановакуумметры (нуль шкалы справа, давление в мм рт.ст.) мановакуумметры (нуль шкалы посередине, манометрическая часть шкалы в кгс/см<sup>2</sup>, вакуумметрическая - в мм рт.ст.), манометры с контрольной стрелкой [две concentrically расположенные шкалы и две стрелки - основная (черная) и контрольная (красная)]. Красная стрелка ведется основной стрелкой и только в направлении увеличения давления, при обратном ходе основной стрелки она останавливается, указывая максимальное значение давления, которое было измерено прибором.

Ход стрелки от нулевой отметки до верхнего предела шкалы манометров с одновитковой пружиной составляет 180-270°.

**Грузопоршневые манометры** (класс точности 0,02; 0,05; 0,2) применяются для измерения высоких давлений (до 10000 кгс/см<sup>2</sup>) и как

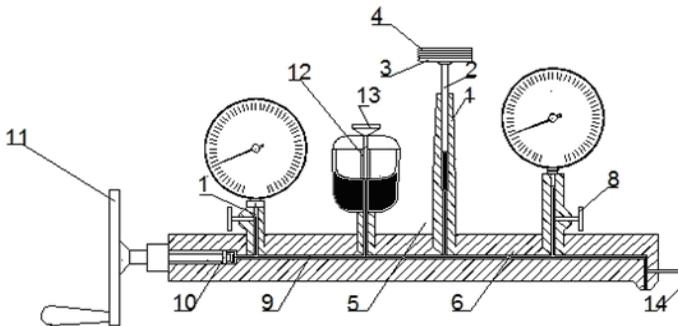


Рисунок 2

образцовые - для поверки технических контрольных приборов.

Принцип действия их заключается в уравнивании силы давления измеряемой среды на свободно передвигающийся в цилиндре поршень силой, создаваемой калиброванным грузом.

Грузопоршневой манометр (рис. 2) имеет грузовую и прессовую части. Грузовая часть состоит из ствола 1, в который вставлен тщательно пришлифованный к нему поршень 2, снабженный в верхней части тарелкой 3. На тарелку накладывают контрольные грузы 4. Ствол



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике

с помощью канала, запираемого вентилем 5, сообщается с горизонтальным каналом 6, который соединен со штуцерами 7, снабженными вентилями 8. С этим же каналом 6 собирается прессовая часть манометра, представляющая цилиндр 9 со стальным поршнем 10, шток которого выполнен в виде винта, снабженного маховиком 11. Всю систему заполняют маслом через воронку 12, имеющую канал, сообщающийся с каналом 6 при закрытом спускном вентиле 14. Этот канал перекрывают вентилем 13. Когда масло появится в штуцерах 7, закрывают вентили 8 и продолжают заливать до заполнения ствола 1.

### **3. Приборы и оборудование для проведения работы:**

- образцовый манометр с одновитковой трубчатой пружиной;
- технический манометр с одновитковой трубчатой пружиной;
- грузопоршневой манометр класса точности 0,2.

Все образцовые приборы, применяемые при поверке манометров, должны иметь допустимую погрешность, в 4 раза меньшую, чем допустимая погрешность поверяемого манометра.

### **4. Порядок и методика выполнения проверок**

4.1. Поверку приборов, измеряющих давление, производят путем сравнения показаний поверяемого приборах действительной величиной давления, подаваемого к прибору. Созданное давление измеряют образцовыми приборами.

При поверке образцового пружинного манометра действительное значение давления определяется грузовым методом, с помощью грузопоршневого манометра. Поверка технического манометра производится по образцовому пружинному манометру.

Приборы необходимо поверять в том положении, в котором они находятся в рабочем состоянии. Давление, которое подается в поверяемый и образцовый приборы, создают грузопоршневым манометром или его гидравлическим прессом.

4.2. Порядок поверки манометров грузовым методом следующий. В один из штуцеров 7 (см.рис.2) устанавливается поверяемый пружинный манометр, вентиль другого штуцера 7 плотно закрывают. Вентили 5 и 8 плавно открывают. Если при этом тарелка с грузами опускается, то ее следует вернуть во взвешенное состояние, перемещая поршень 10 с помощью маховика 11. При поверке манометров тарелку с поршнем 2 следует вращать от руки (легкими толчками) со скоростью от 30



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике

до 100 об/мин. Вращать тарелку необходимо для того, чтобы контролировать положение поршня. Он должен, находиться в положении своего рабочего хода. Это будет свидетельствовать о том, что давление в системе грузопоршневого манометра  $P = q/s$ , где  $P$  - давление, кгс/см<sup>2</sup>;  $q$  - сила тяжести грузов в тарелке с поршнем, см<sup>2</sup>.кгс;  $s$  - рабочая площадь поршня, см<sup>2</sup>.

В качестве грузов используются плоские металлические калиброванные по весу шайбы и технические гири - разновесы. Сила тяжести тарелки с поршнем - 1,5 кгс,  $s = 1\text{см}^2$ .

4.3. Поверку показаний образцового пружинного манометра проводят на всех оцифрованных отметках. На каждой такой отметке, изменяя вес грузов, добиваются, чтобы стрелка поверяемого манометра находилась строго против соответствующего штриха шкалы. После чего определяется и производится запись показаний.

При использовании грузового метода допускается другой способ поверки: заданное действительное давление устанавливается по образцовому грузовому манометру (установкой на тарелку соответствующего груза), отсчет ведут по поверяемому образцовому пружинному манометру.

Поверку проводят при прямом ходе (при увеличении давления) и. при обратном ходе (при уменьшении давления) во всем диапазоне. Причем давление, равное верхнему пределу измерения, выдерживают в течение 5 минут. При этой выдержке показания поверяемого прибора не должны изменяться.

При проведении поверки на обратном ходе снимают часть грузов (остаются грузы, которые соответствуют предшествующей контрольной отметке), при этом следят за положением тарелки относительно грузовой колонки. Если тарелка с грузами поднялась над грузовой колонкой больше, чем на 100 мм, регулируют ее положение с помощью маховика 11. После чего сообщают штоку вращательное движение и производят отсчет показаний и т.д.

Отсчет показаний поверяемого прибора выполняют в каждой точке два раза: сначала непосредственно после получения требуемого давления, а затем после постукивания Пальцем по боковой стенке прибора. По двум отсчетам определяется смещение стрелки на данной отметке.



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике

При проверке нулевой отметки шкалы (как при прямом, так и при обратном ходе) избыточное давление в системе должно быть равно 0, чего можно добиться, открыв вентиль 13.

Результаты замеров заносятся в протокол.

4.4. При решении вопроса о годности к эксплуатации поверяемого манометра руководствуются следующими требованиями:

- приведенная погрешность прибора на каждой отметке шкалы (при прямом и обратном ходе стрелки) не должна превышать величины основной допустимой погрешности для данного класса точности. Если приведенная погрешность поверяемого манометра хотя бы на одной отметке шкалы превышает величину основной допустимой погрешности, манометр признается негодным к эксплуатации и подлежит регулировке;

- вариации в показаниях поверяемого прибора не должны превышать величину основной погрешности, допустимой классом точности прибора;
- смещение стрелки поверяемого прибора от постукивания по корпусу в каждой поверяемой точке не должно превышать половину основной погрешности, допустимой классом точности;

- стрелка поверяемого прибора после проверки должна возвращаться к нулевому штриху, при наличии упорного штифта стрелка может отклоняться от нулевого штриха на величину, не превышающую половины допустимой погрешности.

4.5. При проверке технического пружинного манометра поверяемый прибор устанавливают в один из штуцеров 7, а образцовый пружинный манометр - в другой. Затем подготавливают к работе прессовую часть грузопоршневого манометра: перекрыв (вентиль 5) грузовую колонку 1, оба штуцера 7 (вентили 8) и открыв вентиль 13, медленно вращают маховик против часовой стрелки до упора. При этом масло заполняет рабочий цилиндр прессовой части. После чего, открыв оба вентиля 8 и вентиль 13, проверяют правильность установки стрелок обоих манометров против нулевой отметки. Для создания в системе необходимого давления при закрытом вентиле 13 вращают маховик 11 по часовой стрелке до тех пор, пока стрелка поверяемого прибора не установится на поверяемой отметке шкалы. Соответствующее действительное давление отсчитывают по образцовому прибору.

Число поверяемых отметок составляет для манометров класса точности 1,5 и 2,5 - пять, для манометров классов точности ниже 2,5— три.



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике

Поверки показаний проводят при прямом и обратном ходе стрелки с выдержкой на максимальной отметке в течение 5 минут.

Показания поверяемого прибора можно снимать без постукивания по корпусу прибора.

Отсчеты показаний поверяемого и образцового манометров снимают с точностью 0,1 цены деления. Истинные показания образцового прибора определяют с учетом поправок по свидетельству на прибор.

Результаты замеров заносятся в протокол (форма 1). При решении вопроса о годности к эксплуатации поверяемого манометра руководствуются требованиями, изложенными в п.5.4.

4.6. Содержание отчета:

- схемы пружинного и грузопоршневого манометров с кратким описанием принципа действия;
- протокол поверки технического пружинного манометра;
- график градуировочной характеристики.



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике

**Форма 1.**

**Протокол поверки пружинного технического манометра**

Проверяемый манометр №\_\_\_\_\_, тип манометра \_\_\_\_\_, предел измерения, кгс/см<sup>2</sup>\_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_, цена деления \_\_\_\_\_.

Образцовый прибор №\_\_\_\_\_, тип манометра \_\_\_\_\_, предел измерения, кгс/см<sup>2</sup>\_\_\_\_\_, класс точности \_\_\_\_\_.

**Таблица 1.**

Показания проверяемого манометра $P_n$ кгс/см <sup>2</sup>		Показания образцового манометра $P_0 \pm 0$ усл.ед.      кгс/см <sup>2</sup>				Абсолютная погрешность $\Delta = P_n - P_0 \pm 0,$ кгс/см <sup>2</sup>		Относительная приведенная погрешность $\delta = \frac{\Delta}{P_{max}} \cdot 100\%$		Вариация $\varepsilon = \frac{P_0 - P_0^*}{P_{max}} \cdot 100\%$
Прямой ход	Обр. ход	Прямой ход	Обр. ход	Прямой ход $P_0 \pm 0$	Обр. ход $P_0 \pm 0$	Прямой ход	Обр. ход	Прямой ход	Обр. ход	

Результаты проверки

1. Максимальная погрешность, % \_\_\_\_\_
2. Максимальная вариация, % \_\_\_\_\_
3. Невозвращение стрелки к нулевому штриху, % \_\_\_\_\_

Заключение: прибор годен (не годен) к эксплуатации

Подпись \_\_\_\_\_



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2

### ПОВЕРКА ИНДУКТИВНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

#### 1. Цель работы

Целью работы является изучение принципа действия, конструкции и схемы включения индуктивного преобразователя линейных перемещений, приобретение практических навыков по проведению поверки прибора показывающего с индуктивным преобразованием.

#### 2. Устройство и принцип работы прибора

2.1. Устройство и принцип работы индуктивного преобразователя

Работа индуктивного преобразователя основана на изменении индуктивного сопротивления катушки при изменении геометрических размеров магнитопровода. Наиболее широко применяются дифференциальные индуктивные преобразователи соленоидного типа с изменяющейся площадью зазора.

Конструктивно преобразователь модели 223 (рис. 1) выполнен в цилиндрическом стальном корпусе I. Подвижный шток 2 с измерительным наконечником 3 перемещается в шариковых направляющих 4. Втулка 5 является ограничителем хода и поворота штока, пружина 6 создает измерительное усилие. В верхней части штока закреплен ферритовый якорь 7, перемещающийся относительно двух катушек индуктивности 8 и 9, которые заключены в магнитопроводе 10 из электротехнической стали и замкнуты с торцов двумя ферритовыми кольцами 11 и 12. Магнитопровод преобразователя смонтирован в латунной втулке 13 и зажат в ней гайкой 14 через стеклотекстолитовую шайбу 15, которая имеет металлизированные отверстия с контактными площадками для распайки кон-

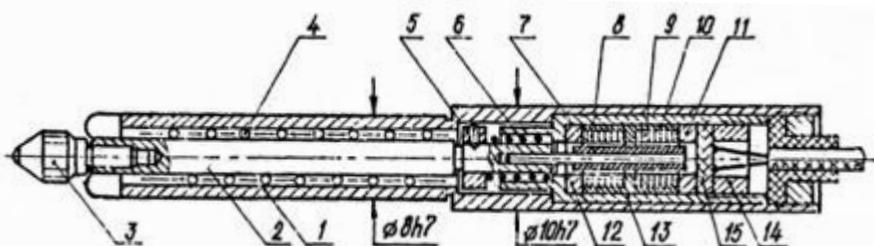


Рисунок 1.



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

цов обмоток катушек и проводов внешнего кабеля. Кабель выполнен экранированным проводом и заканчивается разъемом для подключения к отсчетному блоку.

Индуктивный преобразователь работает следующим образом. При симметричном расположении якоря по отношению к магнитопроводу и катушкам индуктивности последних одинаковы  $L_1 = L_2 = L_0$ . Связанное с отклонением контролируемого размера смещение якоря при симметричности обмоток катушек уменьшает индуктивность одной и увеличивает индуктивность другой на одну и ту же величину:  $L_1 = L_0 + \Delta L$ ,  $L_2 = L_0 - \Delta L$ .

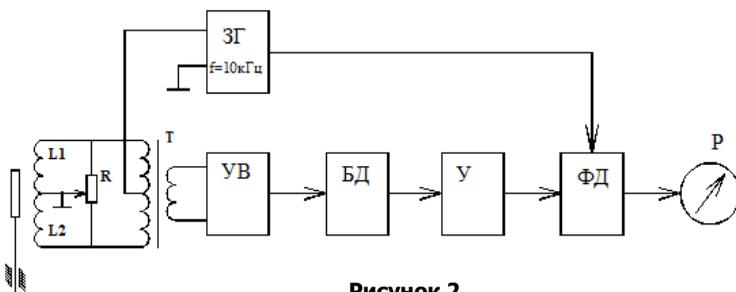
Вследствие этого амплитуда напряжения разбаланса на выходе мостовой схемы, в которую включен преобразователь изменяется в соответствии с перемещением якоря. При переходе якоря через среднее положение фаза выходного напряжения меняется на  $180^\circ$  по отношению к напряжению питания моста;

### 2.2. Устройство и принцип работы прибора показывающего.

Прибор показывающий модели 214 с индуктивным преобразователем является универсальным измерительным средством, позволяющим измерять отклонения размеров контролируемых деталей от номинальных.

Прибор выполнен в виде электронного блока настольного типа, на лицевой панели которого расположены: красная кнопка включения прибора; сигнальная лампа "Прибор включен"; кнопки переключения цены деления; ручка электронной установки нуля; отверстие для механической установки стрелки показывающего прибора на ноль при включенном приборе.

На левой боковой стенке корпуса расположены потенциометры



**Рисунок 2.**

для регулировки коэффициента усиления и, соответственно, цены деления.

Прибор состоит из следующих функциональных узлов (рис. 2): измерительной схемы включения индуктивного преобразова-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

теля; задающего генератора (ЗГ); усилителя входного (УВ); блока делителей (БД); усилителя (У); фазового детектора (ФД); отсчетного устройства (Р); блока питания.

Измерительная схема представляет собой симметричный мост, образованный катушками индуктивного преобразователя L1 и L2 и обмотками трансформатора Т. Сопротивление R предназначено для установки указателя на ноль с помощью дополнительной балансировки моста. Напряжение разбаланса снимается со вторичной обмотки трансформатора. Задающий генератор генерирует синусоидальное переменное напряжение частотой 10 кГц, которое используется для питания измерительной схемы и фазового детектора опорным напряжением. Усилитель входной представляет собой эмиттерный повторитель и предназначен для повышения входного сопротивления канала усиления. Блок делителей представляет собой набор делителей напряжения, коммутируемых переключателями, и предназначен для изменения диапазона измерения и цены деления шкального устройства. Усилитель предназначен для усиления измерительного сигнала перед подачей его на фазовый детектор. Фазовый детектор состоит из транзисторных ключей, коммутируемых опорным напряжением от задающего генератора, предназначен для преобразования переменного напряжения в постоянное со знаком, зависящим от соотношения фаз входного и опорного напряжений.

2.3. Технические характеристики прибора показывающего.

2.3.1. Технические характеристики прибора показывающего приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры	Диапазон измерений (показаний), мкВ				
	6 (-3...+3)	12 (-6...+6)	30 (-15...+15)	60 (-30...+30)	120 (-60...+60)
Цена деления	0,1	0,2	0,5	1,0	2,0
Предел допускаемой погрешности показаний	0,1	0,2	0,3	1,0	2,0
Предел допускаемой нестабильности показаний	0,06	0,07	0,1	0,2	0,3

2.3.2. Рабочее положение преобразователя: вер- горизонтальное тикальное,



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

- 2.3.3. Длина полного хода измерительного наконечника преобразователя, мм, не менее 1,5
- 2.3.4. Измерительное усилие преобразователя, кН, не более 60
- 2.3.5. Колебание измерительного усилия в пределах диапазона показаний, кН, не более 2
- 2.3.6. Погрешность прибора при тангенциальном воздействии на измерительный наконечник преобразователя усилием 20 кН, мкм, не более 0,05
- 2.3.7. Габаритные размеры, мм, не более, - электрон. блока 139x190x170  
10x80
- преобразователя
- 2.3.8. Масса, кг, не более, - 4  
электрон. блока 0,1
- преобразователя
- 2.3.9. Время непрерывной работы, ч, не менее 8

### 3. Порядок проведения поверки.

3.1. При проведении поверки должны выполняться операции и применяться средства поверки, указанные в таблице 2.

Таблица 2.

№ №	Наименование операции	Средства поверки и их нормативно-технические характеристики	Обязательность проведения операции при:		
			выпуске	ремонте	эксплуатации и хранении
4.3.1	Внешний осмотр	Визуально	Да	Да	Да
4.3.2	Проверка взаимодействия преобразователя и электрон. блока	Опробованием Стойка С-1 ГОСТ 10197-70	Да	Да	Да



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

4.3. 3	Определение нестабильности (размаха) показаний	Стойка С-1 ГОСТ 10197-70	Да	Да	Да
4.3. 4	Определение цены деления и погрешности показаний	Меры длины концевые плоско-параллельные: наборы №1 и №6 ГОСТ 13582-68 3-го разряда ГОСТ 8.166-75	Да	Да	Да
4.3. 5	Определение величины выходного напряжения	Стойка С-1 Вольтметр Класса 2,5 ГОСТ 8711-78	Да	Да	Нет

Поверка измерительных систем, находящихся в эксплуатации, производится в случае несоответствия точностных показателей нормам, установленным в технической документации или в соответствии с планом государственной поверки.

## 3.2. Условия проведения поверки:

- температура воздуха рабочего пространства в котором проводится поверка -  $20 \pm 2$  °С, влажность -  $60 \pm 20$  %, давление -  $101326 \pm 400$  Па;

- изменение температуры в период поверки -  $0,2$  °С за один час.

## 3.3. Подготовка к поверке:

- промыть смазочные части преобразователя бензином (ГОСТ1012-72) и протереть чистой салфеткой:

- установить преобразователь в стойку и выдержать два часа;

- непосредственно перед поверкой включить прибор в сеть и выдержать 30 мин.

## 3.3. Проведение поверки

## 3.3.1. Внешний осмотр

При внешнем осмотре осуществляется проверка комплектности прибора и дефекты покрытий.

Основными составными частями прибора показывающего модели 214 с индуктивным преобразователем являются электрон-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

ный блок и один индуктивный преобразователь модели 223.

Наружные поверхности прибора не должны иметь дефектов, ухудшающих его эксплуатационные качества

3.3.2. Проверка взаимодействия преобразователя и электронного блока.

При проверке взаимодействия преобразователя и электронного блока преобразователь необходимо подсоединить к электронному блоку и закрепить в стойке С-1. Включить прибор. Установить диапазон измерения 120 мкм кнопкой с градуировкой "2". Перемещая измерительный наконечник преобразователя, убедиться в плавном перемещении указателя стрелочного индикатора.

3.3.3. Определение нестабильности показаний прибора.

Для определения нестабильности показаний преобразователь установись в стойке С-1 так, чтобы указатель прибора находился в пределах шкалы. Арретиром или пинцетом осуществить подъем и опускание измерительного наконечника. Повторить операцию 10 раз. За нестабильность показаний принимается наибольшая разность между отдельными показаниями, которая не должна превышать значений, указанных в таблице 3. Определение нестабильности показаний производится на всех пределах измерения прибора, результаты заносятся в таблицу.

3.3.4 Определение цены деления и погрешности показаний:

- установить на столе стойки концевую меру, соответствующую нулевому показанию прибора на данном диапазоне измерений;

- микроподачей стола подвести концевую меру до контакта с измерительным наконечником преобразователя, и далее - до совмещения указателя с нулевым делением шкалы (для более точной установки указателя на ноль используется электронное смещение ноля);

- последовательно установить концевые меры в соответствии с таблицей 3 и произвести отсчет показаний. В каждой точке шкалы прибора производится трехкратное измерение. За результат измерения в данной точке принимается среднеарифметическое значение полученных величин.

Погрешность показаний прибора определяется как наибольшее значение разности результата измерения и действительного значения размеров применяемых концевых мер длины. Наибольшее значение погрешности показаний на каждом диапазоне измерения не должно превышать значений, указанных в таблице 1.

3.3.5. Определение величины выходного напряжения.

Для определения величины выходного напряжения пре-



### Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

образователь установить в стойке С-1. Микроподачей стола поочередно установить указатель на крайних делениях шкалы. С помощью вольтметра класса 2,5 ГОСТ 8711-78 определить выходное напряжение, которое в крайних точках должно быть не менее 0,1 В.

Таблица 3.

<b>Перемещение, заданное измерительному наконечнику преобразователя с помощью концевой меры, мкм</b>	<b>Номинальные размеры концевых мер, мм</b>	<b>Показания прибора по отсчётому устройству, мкм</b>	<b>Погрешность показаний, мкм</b>
<b>Цена деления 2,0 мкм</b>			
+60	1,12		
+40	1,10		
+20	1,08		
0	1,06		
-20	1,04		
-40	1,02		
-60	1,00		
<b>Цена деления 1,0 мкм</b>			
+30	1,06		
+20	1,05		
+10	1,04		
0	1,03		
-10	1,02		
-20	1,01		
-30	1,00		
<b>Цена деления 0,5 мкм</b>			
+15	1,005		
+10	1,000		
+5	0,995		
0	0,990. .1,005		
-5	1,000		
-10	0,995		
-15	0,990		
<b>Цена деления 0,2 мкм</b>			
+6	0,998		



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

+4	0,996		
+2	0,994		
0	0,992. .0,998		
-2	0,996		
-4	0,994		
-6	0,992		
<b>Цена деления 0,1 мкм</b>			
+3	0,999		
+2	0,998		
+1	0,997		
0	0,996		
-1	0,995		
-2	0,994		
-3	0,993		

### 4. Содержание отчета:

- конструкция индуктивного преобразователя, его принципиальная схема, метрологические характеристики:

- электрическая схема включения индуктивного преобразователя, функциональная схема прибора, его метрологические характеристики:

- оформленные результаты поверки, включающие в себя таблицу результатов определения нестабильности показаний, таблицу результатов определения цены деления и погрешности показаний, заключение о соответствии прибора техническим условиям.



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ ВКЛЮЧЕНИЯ И ПОВЕРКА ТРАНСФОРМАТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

#### 1. Цель работы.

Изучение принципа действия, конструкции и схемы включения дифференциального трансформаторного преобразователя, получение практических навыков проведения поверки измерительных преобразователей.

#### 2. Конструкция и принцип действия трансформаторного преобразователя.

Трансформаторный преобразователь линейных перемещений является индукционным датчиком. Принцип его действия основан на изменении пространственного магнитного потока, проходящего через индикаторную обмотку, при перемещении якоря. При этом изменяется взаимная индуктивность первичной и индикаторной обмоток и, соответственно, значение ЭДС, индуцируемой в индикаторной обмотке. Для компенсации начального выходного напряжения, снижения влияния помех, увеличения чувствительности и диапазона линейности применяются дифференциальные трансформаторы, у которых две индикаторные обмотки включены встречно.

Устройство такого преобразователя приведено на рис. 1, схема электрическая принципиальная представлена на рис. 2.

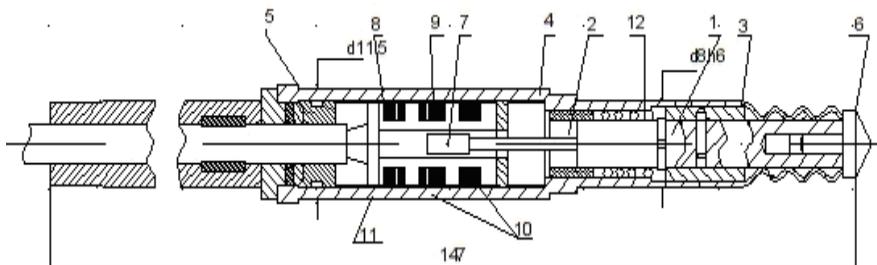


Рисунок 1.

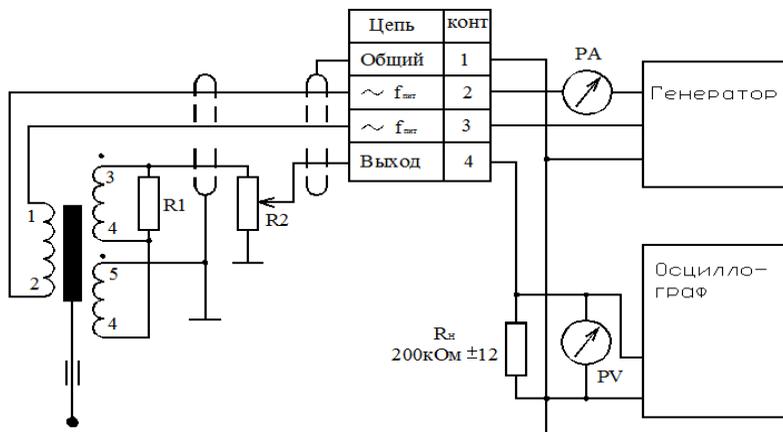


Рисунок 2.

Передачный механизм преобразователя выполнен на двух направляющих скольжения, образованных стальным штоком I и двумя бронзовыми втулками. Одна втулка 2 впрессована, а вторая 3 ввинчена в корпус 4 преобразователя. Направляющие расположены по одну сторону от магнитной системы. Магнитная система, образованная катушкой и магнитопроводом 8, закреплена в корпусе с помощью штуцера 5. На стальной шток 1 с одной стороны ввинчивается измерительный наконечник 6, с другой - крепится латунный стержень с якорем 7 из электротехнической стали. Между якорем и магнитной системой имеется воздушный зазор. Резистор R2 служит для получения минимального остаточного напряжения  $U_0$ . Резистором R1 осуществляется масштабирование характеристики с целью получения взаимозаменяемости преобразователей.

Работает преобразователь следующим образом. При перемещении измерительного наконечника происходит смещение якоря в магнитной системе. При этом магнитная связь первичной обмотки с одной из вторичных обмоток усиливается, а с другой - ослабляется. Соответственно, напряжение на одной вторичной обмотке увеличивается, на другой - уменьшается. Поскольку вторичные обмотки включены встречно, выходное напряжение преобразователя равно разности напряжений на вторичных обмотках. В среднем положении якоря наступает баланс магнитной системы, что соответствует минимальному (остаточному) выходному напряжению преобразователя  $U_0$ . При переходе через точку баланса выходное напряжение меняет фазу, что позволяет определять



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

направление смещения якоря и измерительного наконечника относительно среднего положения

Выходные характеристики трансформаторного преобразователя (амплитудная и фазовая) имеют вид представленный на рис. 3, где а - зависимость амплитуды выходного сигнала от перемещения измерительного штока; б - зависимость фазы выходного сигнала относительно напряжения питания от перемещения измерительного штока;  $X$  - ход измерительного штока;  $X_{\max}$ ,  $X_{\min}$  - максимальные перемещения измерительного штока относительно среднего положения;  $U_{\max}$  - амплитуда выходного напряжения в начале шка;  $\Delta U$  - остаточное выходное

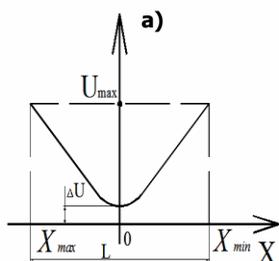


Рисунок 3.

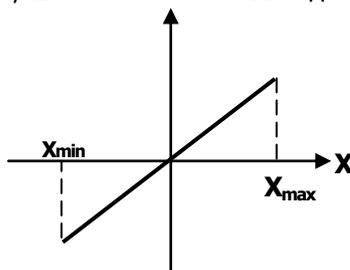
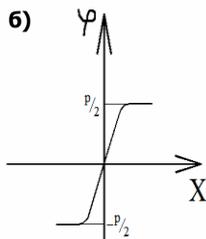


Рисунок 4.

При фазочувствительном детектировании выходного напряжения преобразователя в электронных устройствах, работающих совместно с преобразователем, выходные статические характеристики принимают вид, показанный на рисунке 4.

### 3. Технические требования к трансформаторному преобразователю модели АЗЗ производства НПО "Прибор"

#### 3.1 Основные параметры и размеры

3.1.1 Преобразователь должен соответствовать требованиям технических условий АЗЗ.00.000ТУ и комплекту документации согласно ЛЗЗ.00.000

3.1.2 Габаритные размеры, не более, мм 11,5x147

3.1.3 Масса преобразователя, не более, кг 0,15

3.1.4 Длина соединительного кабеля, не менее, м 2

#### 3.2 Технические характеристики

3.2.1 Ход измерительного наконечника, не менее, мм 3,0

3.2.2 Сопротивление изоляции первичной обмотки, не менее, Мом, 5

3.2.3 Ток потребления при питании синусоидальным сигналом частотой  $10 \pm 2$  кГц, эффективным напряжением 6 В, не более. мА



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

10

3.2.4 Выходное напряжение в начале и в конце хода измерительного наконечника, не менее, В 1,5

3.2.5 Вариация выходного сигнала на участке  $\pm 1,0$  мм, не более, В, 0,001

3.2.6 Остаточное выходное напряжение, не более, В 0.005

3.2.7 Нелинейность характеристики на участке  $\pm 1,0$  мм, не более, % 2

3.2.8 Чувствительность при питании синусоидальным сигналом частотой  $10 \pm 2$  кГц, эффективным напряжением 6 В, при сопротивлении нагрузки 200 кОм. В/мм  $I \pm 0,005$

3.2.9 Измерительное усилие при минимальном выходном напряжении, II  $1 \pm 0,01$

3.2.10 Время непрерывной работы, не менее, ч 8

3.2.11 Рабочие условия применения:

температура окружающего воздуха, °С, +5 + +40

относительная влажность при 25°C, не более, % 90

атмосферное давление, кПа 86... 106

3.2.12 Нормальные условия:

температура окружающего воздуха, °С

20 $\pm$ 5

относительная влажность воздуха, %

65 $\pm$ 15

атмосферное давление. Па

100 $\pm$ 4

3.2.13 Чувствительный элемент преобразователя должен быть герметизирован.

3.2.14 Показатели надежности:

наработка на отказ при доверительной вероятности 0,8, не менее, измерений (касания измерительного наконечника)

2.000.000

срок службы преобразователя, не менее, лет

6

3.3 Комплектность. В комплект поставки должны входить: преобразователь ЛЗ3.00.000; паспорт АЗ3.00.000 ПС, упаковочный чехол.

### 4 Порядок выполнения работы

4.1 Все испытания, кроме определения влияния внешних факторов, проводятся при нормальных условиях. Номинальные значения и допуски параметров приведены в пункте 3.

4.2 Проверку соответствия трансформаторного преобразова-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

теля п.п. 3.1.1; 3.1.2; 3.1.3; 3.1.4 произвести путем внешнего осмотра, сличения с чертежами и соответствующих измерений.

4.3 Поверку хода измерительного наконечника по п. 3.2.1 произвести с помощью универсальной стойки С-1 и набора концевых мер длины.

4.3.1 Установить преобразователь в кронштейне стойки С-1 так, чтобы наконечник касался поверхности плиты и находился крайнем нижнем положении.

4.3.2 Приподнять наконечник до упора и путем подбора концевых мер длины определить ход измерительного наконечника.

4.4 Поверку тока потребления по п. 3.2.3 производят с помощью генератора ГЗ-33 и миллиамперметра по схеме на рисунке 2.

4.4.1 Включить миллиамперметр в цепь первичной обмотки преобразователя (контакт 2):

4.4.2 На первичную обмотку (контакт 3 и миллиамперметр) с симметричного выхода генератора подать напряжение ( $6 \pm 0,1$  В) частотой 10 кГц и сделать отсчет тока потребления.

4.5 Поверку выходного напряжения в начале и конце хода измерительного наконечника по п. 3.2.4 произвести по схеме на рисунке 2.

4.5.1 На первичную обмотку преобразователя (контакты 2 и 3) с симметричного выхода генератора подать напряжение ( $6 \pm 0,1$  В) частотой 10 кГц (при положении 5 выходного сопротивления генератора):

4.5.2 Выходное напряжение с преобразователя (контакты 1 и 4) подать на нагрузочное сопротивление  $R_n = 7,511\% \text{ кОм}$  для АЗ3.00.000.  $R_n = 200 \pm 1\% \text{ кОм}$  для ЛЗ3.00.000-01;

4.5.3 Преобразователь закрепить в стойке С-1: на столе стойки установить клиновое приспособление, ручками настоек стойки добиться минимума показаний вольтметра;

4.5.4 Ручками настройки сместить наконечник преобразователя в крайнее верхнее положение и снять отсчет по вольтметру;

4.5.5 Ручками настройки сместить наконечник преобразователя в крайнее нижнее положение и снять отсчет по вольтметру.

4.6 Поверку вариации выходного сигнала по п. 3.2.5 и остаточного напряжения по п. 3.2.6 произвести по схеме на рисунке 2 с установленным в стойке С-1 преобразователем и клиновым приспособлением.

4.6.1 Выполнить п.п. 4.5.1 - 4.5.3.

4.6.2 Вращением барабана микрометрической головки проверить точность установки остаточного выходного напряже-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

ния, сделать отсчет по вольтметру и занести результаты в таблицу 1;

4.6.3 Вращением барабана микрометрической головки против часовой стрелки установить клин в крайнее положение, а нуль барабана на риску отсчета. Перемещением преобразователя установить выходной сигнал, равный остаточному напряжению;

4.6.4 Вращением барабана микрометрической головки по часовой стрелке последовательно задавать смещения, указанные в таблице 1, и показания вольтметра в каждой точке занести в таблицу;

4.6.5 Вращением барабана против часовой стрелки снять показания в тех же точках при обратном ходе измерительного наконечника, результаты занести в таблицу;

4.6.6 Аналогичным образом получить значения выходного напряжения при прямом и обратном ходе измерительного наконечника на отрицательном участке характеристики при изменении  $X$  от 0 до  $-1,0$  мм;

4.6.7 За вариацию выходного сигнала принимается максимальная разность между выходным напряжением преобразователя при прямом и обратном ходе, которая не должна превышать  $0,001$  В.

4.7 Поверку формы выходного сигнала произвести по схеме на рис. 2.

4.7.1 Установить перемещение измерительного наконечника, соответственно  $X = -0,5; 0; 0,5$  мм и проанализировать по экрану осциллографа форму выходного сигнала;

4.7.2 Подав на усилитель горизонтального отклонения осциллографа напряжение питания преобразователя, исследовать с помощью фигур Лиссажу фазовые соотношения между напряжением питания и выходным сигналом преобразователя при  $X > 0$ ,  $X = 0$ ,  $X < 0$ .

4.8. Поверку нелинейности статической характеристики преобразователя по п. 3.2.7 произвести, используя данные таблицы 1, полученные при прямом ходе измерительного наконечника в точках

$X = -1,0; -0,5; 0; 0,5; 1,0$  мм.

4.8.1 Определить отклонения статической характеристики от линейной:  $\Delta U_{+0,5} = U_{+1,0/2} - U_{+0,5}$      $\Delta U_{-0,5} = U_{-1,0/2} - U_{-0,5}$

4.8.2 Вычислить нелинейность положительной и отрицательной ветвей характеристики:  $\rho_{+} = (\Delta U_{+0,5} / U_{+1,0}) \cdot 100\%$ ;     $\rho_{-} = (\Delta U_{-0,5} / U_{-1,0}) \cdot 100\%$ .

За общую нелинейность принимается большее значение.



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

4.9 Поверку чувствительности преобразователя по п. 6.2.8 произвести по результатам исследования статической характеристики, занесенным в таблицу 1.

Таблица 1.

Показания образцового устройства, мм	Показания вольтметра, В			
	на положительной части характеристики		на отрицательной части характеристики	
	при прямом ходе	при обратном ходе	при прямом ходе	при обратном ходе
0				
0,05				
...				
1,00				

## 5. Содержание отчета

5.1 Конструкция, схема электрическая принципиальная и основные технические характеристики поверяемого трансформаторного преобразователя.

5.2 Осциллограммы напряжения питания и выходного сигнала преобразователя при  $X < 0$ ,  $X = 0$ ,  $X > 0$ .

5.3 Таблицы с результатами исследования статических характеристик и их графики при частоте питающего напряжения 5, 10, 15 кГц.

5.4 Расчет нелинейности характеристики.

5.5 Расчет чувствительности трансформаторного преобразователя

5.6 Выводы по результатам поверки.



Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4

### ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТОЭЛЕКТРОННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ

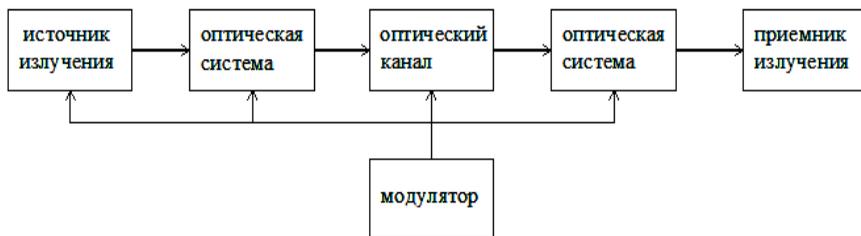
#### 1. Цель работы.

Изучение принципа действия оптоэлектронных измерительных преобразователей, исследование статических характеристик фотоэлектрических приемников оптического излучения.

#### 3. Краткие сведения из теории

Оптоэлектронные измерительные преобразователи (ОЭП) - это группа первичных преобразователей, формирующих выходной электрический сигнал с промежуточным преобразованием измеряемой физической величины в изменение параметров потока оптического излучения.

Обобщенная структурная схема ОЭП показана на рис.1. Источник излучения создает поток оптического излучения, которое проходит оптические системы, оптический канал и воспринимается приемником оптического излучения. Измеряемая величина  $X$  воздействует на модулятор, который изменяет параметры оптического излучения. Модулироваться в зависимости от конструкции ОЭП могут следующие параметры.  $\Phi$  - световой поток;  $E_{\text{опт}}$  - освещенность;  $\eta$  - коэффициент оптического преломления;  $\alpha$  - угол поворота плоскости поляризации;  $k_{\alpha}$   $k_{\eta}$   $k_{\tau}$  - показатели поглощения отражения и пропускания соответственно.



**Рисунок 1.**

Конструкция оптических систем, канала и модулятора зависит от метро-логических требований к ОЭН. Во всех ОЭН име-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

ются источник и приемник оптического излучения. В качестве источника оптического излучения используются лампы накаливания, газоразрядные лампы, светодиоды и лазеры.

Приемники оптического излучения разделяются на интегральные и селективные. **Интегральные** - формируют выходной сигнал в зависимости от полной мощности падающего на них потока независимо от длины волны излучения. К **селективным** относятся фотоэлектрические преобразователи (ФП), в которых используются явления внешнего фотоэффекта (вакуумные и газонаполненные фотоэлементы, фотоумножители) или внутреннего фотоэффекта (полупроводниковые фотоэлементы: фоторезисторы, фотодиоды, фототранзисторы и фотоварикапы). В соответствии с физическими основами фотоэффекта выходной сигнал фотоэлементов зависит от длины волны падающего излучения, поэтому необходимо для них вводить понятие о спектральных характеристиках.

В современных ОЭП применяются полупроводниковые фотоэлементы; характеристики фоторезисторов и фотодиодов исследуются в данной работе.

Фоторезисторы представляют собой однородную полупроводниковую пластину с контактами. Их сопротивление при изменении освещенности изменяется в результате внутреннего фотоэффекта; соответственно изменяется ток  $I_{фц}$ , протекающий через фотосопротивление в схеме включения, приведенной на рисунке 2. Фоторезисторы характеризуются кратностью изменения сопротивления под действием света  $n=R_{темн} R_{E=200лк}$ , которая для различных типов фоторезисторов лежит в пределах от 1,2 до 10.

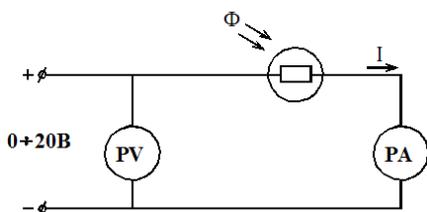


Рисунок 2.

Фотодиоды представляют собой освещенный p-n переход. При изменении освещенности за счет внутреннего эффекта изменяется обратное сопротивление p-n перехода и создается разность потенциалов. Фотодиод

может работать в фотодиодном и генераторном режимах.

В фотодиодном режиме (рис. 3а) к p-n переходу приложено запирающее напряжение  $U_{пит}$ , под действием которого при отсутствии освещенности протекает небольшой темновой ток, определяемый обратным сопротивлением диода. При увеличении освещенности p-n перехода ток  $I_{ф}$  увеличивается. В генераторном режиме (рис. 3б) фотодиод работает непосредственно на на-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

грузку  $R_n$ . За счет внутреннего фотоэффекта на p-n переходе создается разность потенциалов  $U_{\Phi}$ , которая зависит от освещенности. При изменении освещенности изменяется  $U_{\Phi}$  и, соответственно, ток в нагрузке  $I_{\Phi}$ .

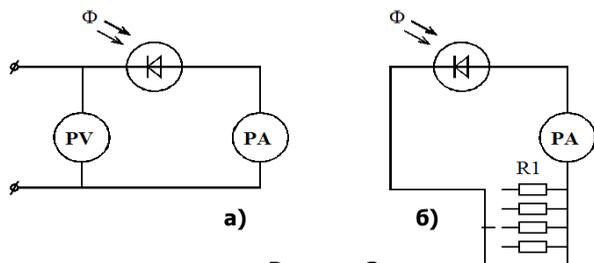


Рисунок 3.

Основные характеристики фотоэлементов:

вольт-амперная характеристика  $I_{\Phi} = f(U_{\text{пит}})$ , которая определяет зависимость фототока  $I_{\Phi}$  от напряжения питания  $U_{\text{пит}}$  при постоянном значении  $\Phi$  потока оптического излучения;

световая характеристика  $I_{\Phi} = f(\Phi)$  - зависимость фототока  $I_{\Phi}$  от значения потока оптического излучения  $\Phi$  неизменного спектрального состава при постоянных параметрах схемы включения;

монохроматическая (спектральная) чувствительность  $S_{\lambda}$ , представляющая собой отношение приращения фототока  $I_{\Phi}$  к изменению плотности (мощности) монохроматического потока с длиной волны  $\lambda$ ,

интегральная световая чувствительность  $S$  - отношение приращения фототока  $I_{\Phi}$  к изменению потока оптического излучения:

$$S = \frac{\Delta I_{\Phi}}{\Delta \Phi} (\text{мкА} / \text{лм}).$$

### 4. Порядок выполнения работы.

4.1 Снимите статические вольт-амперную и световую характеристики фоторезистора.

4.1.1 Для снятия статических характеристик фоторезистора соберите электрическую схему, приведенную на рис. 2.

Изменяя напряжение питания  $U_{\text{пит}}$  в пределах от 0 до 20 В (с интервалом 2 В), снимите вольт-амперную характеристику  $I_{\Phi} = f(U_{\text{пит}})$  при трех значениях светового потока  $\Phi_1 = 0,05 \text{ лм}$ ,  $\Phi_2 = 0,25 \text{ лм}$ ,  $\Phi_3 = 0,9 \text{ лм}$ .

Изменение светового потока производится переключением дополнительного сопротивления в цепи питания осветительной лампы накаливания. Соответствие светового потока положению



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

движка реостата приведено в таблице 1.

Таблица 1.

$U_{\text{пит}}, \text{В}$	$I_{\Phi}, \text{мА}$		
	При $\Phi_1 = 0,05 \text{ лм}$	При $\Phi_2 = 0,25 \text{ лм}$	При $\Phi_3 = 0,9 \text{ лм}$
0			
2			
...			
20			

4.1.3 Результаты измерений занесите в таблицу 2 и постройте соответствующий график вольт-амперной характеристики.

Таблица 2.

$\Phi, \text{лм}$	$I_{\Phi}, \text{мА}$		
	При $U_{\text{пит}} = 6\text{В}$	При $U_{\text{пит}} = 10\text{В}$	При $U_{\text{пит}} = 20\text{В}$
0			
2			
...			
20			

4.1.4 Изменяя световой поток, падающий на фотосопротивление, снимите световую характеристику  $I_{\Phi} = f(\Phi)$  при трех значениях напряжения питания  $U_{\text{пит}} = 6\text{В}, 10\text{В}, 20\text{В}$ .

4.1.5 Результаты измерений занесите в таблицу 3 и постройте соответствующий график световой характеристики.

Таблица 3.

$\Phi, \text{лм}$	$I_{\Phi}, \text{мА}$		
	При $U_{\text{пит}} = 6\text{В}$	При $U_{\text{пит}} = 10\text{В}$	При $U_{\text{пит}} = 20\text{В}$
0			
2			
...			
20			

4.2 Рассчитайте по полученным статическим вольт-амперным и световым характеристикам фоторезистора внутреннее световое сопротивление  $R_i$  при трех значениях светового потока  $\Phi_1 = 0,05 \text{ лм}, \Phi_2 = 0,25 \text{ лм}, \Phi_3 = 0,9 \text{ лм}$  по формуле:

$$R_i = \frac{\Delta U_{\text{ном}}}{\Delta I_{\Phi}}$$

Подсчитайте кратность изменения сопротивления  $n = R_i$



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

$/R_T$ , если темновое сопротивление фоторезистора  $R_T=33 \text{ кОм}$ :

$$S = \frac{\Delta I_{\phi}}{\Delta \Phi}, \text{ при } U_{\text{пит}} = 20 \text{ В}$$

4.3 Рассчитайте статическую интегральную чувствительность фоторезистора

4.4 Снимите статические вольт-амперную и световую характеристики фотодиода, работающего в режиме фотопреобразователя.

Для снятия статических характеристик фотодиода, работающего в режиме фотопреобразователя, соберите электрическую схему, приведенную на рисунке 3а. При этом на стенде установите переключатель К в положение 1.

Переключателем установите сопротивление нагрузки  $R_H=20 \text{ кОм}$ . Изменяя напряжение питания в пределах от 0 до 20 В (с интервалом 2 В), снимите вольт-амперную характеристику  $I_{\phi} = f(U_{\text{пит}})$  при трех значениях светового потока  $\Phi_1 = 0,05 \text{ лм}$ ,  $\Phi_2=0,25 \text{ лм}$ ,  $\Phi_3=0,9 \text{ лм}$ .

Изменение светового потока производится переключением дополнительного сопротивления в цепи питания осветительной лампы накаливания. Соответствие светового потока положению движка реостата приведено в таблице 1.

Результаты измерений занесите в таблицу, аналогичную таблице 2, и постройте соответствующий график вольт-амперной характеристики.

Изменяя световой поток, падающий на фотодиод, снимите световую характеристику  $I_{\phi} = f(\Phi)$  при трех значениях напряжения питания  $U_{\text{пит}} = 6 \text{ В}$ , 10 В, 20 В и сопротивлении нагрузки  $R_H=20 \text{ кОм}$ .

4.4.5 Результаты измерений занесите в таблицу, аналогичную таблице 3. и постройте соответствующий график световой характеристики.

4.5 Рассчитайте статическую интегральную чувствительность фотодиода, работающего в режиме фотопреобразователя

4.6 Снимите статические вольт-амперную и световую характеристики фотодиода, работающего в режиме фотогенератора.

4.6.1 Для снятия статических характеристик фотодиода, работающего в режиме фотогенератора, соберите электрическую схему, приведенную на рисунке 3б. При этом на стенде установите переключатель К в положение 2.

4.6.2 Для построения вольт-амперной характеристики фотодиода, работающего в режиме фотогенератора, необходимо экс-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

периментально определить нагрузочные характеристики  $I = f(R_H)$  и  $U_H = f(\Phi)R_H$ , представляющие зависимость тока  $I$  в цепи и напряжения на фотодиоде  $U_a$ , от сопротивления нагрузки. Ток измеряется микроамперметром, напряжение - цифровым милливольтметром. Сопротивление нагрузки  $R_H$  изменяется переключателем на стенде; измерения производятся при  $\Phi_1=0,05$  лм.  $\Phi_2=0,25$  лм,  $\Phi_3=0,9$ лм.

4.6.3 Результаты занесите в таблицу 4, постройте графики вольт-амперных характеристик фотодиода, работающего в режиме фотогенератора.

Таблица 4.

$R_H$ Ом	При $\Phi_1=0,05$ лм		При $\Phi_2=0,25$ лм		При $\Phi_3=0,9$ лм	
	1, мкА	U В	1, мкА	U В	1, мкА	U В
0						
500						
1000						
2000						
$\infty$	0		0		0	

4.6.4 Изменяя световой поток, падающий на фотодиод, снимите световую характеристику при коротком замыкании  $I_{к.з}=f(\Phi)$  (этом случае сопротивление нагрузки равно 0) и при трех значениях сопротивления нагрузки  $R_H=500$  Ом, 1000 Ом, 2000 Ом.

4.6.5 Результаты занесите в таблицу 5, постройте графики световых характеристик фотодиода, работающего в режиме фотогенератора.

Таблица 5.

Световой поток $\Phi$ , лм	$R_H=0$	$R_H=500$ Ом	$R_H=100$ Ом	$R_H=2000$ Ом
	$I_{к.з}$	$I_{к.з}$	$I_{к.з}$	$I_{к.з}$
0				
0,01				
...				
1,15				

4.7. Снимите зависимость напряжения холостого хода от освещенности  $U_a=f(\Phi)$  фотодиода, работающего в режиме фотогенератора. Режим холостого хода возникает при токе в цепи  $I=0$ , т.е. при сопротивлении нагрузки  $R_H$  равном бесконечности. Ре-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

зультаты занесите в таблицу 6, постройте график напряжения холостого хода фотодиода в режиме фотогенератора

Таблица 6.

Световой поток Ф, лм	0,01	0,03	0,05	0,10	0,15	0,25	0,40	0,60	0,90	1,15
U В										

4.8 Рассчитайте статическую интегральную чувствительность фотодиода по току, работающего как фотогенератор в режиме короткого замыкания:

$$S_I = \frac{\Delta \phi}{\Delta \Phi}$$

4.9 Рассчитайте статическую интегральную чувствительность фотодиода по напряжению, работающего как фотогенератор в режиме холостого хода:

$$S_U = \frac{\Delta U_{\phi}}{\Delta \Phi}$$

## 5. Содержание отчета.

5.1 Конструкция и схема включения фотосопротивления.

5.2 Результаты определения статических вольт-амперных и световых характеристик фоторезистора, содержащие: экспериментальные данные в таблицах 2 и 3; соответствующие графики вольт-амперных и световых характеристик фоторезистора; расчет кратности изменения сопротивления и интегральной чувствительности фоторезистор».

5.3 Конструкция и схемы включения фотодиода.

5.4 Результаты определения статических вольт-амперных и световых характеристик фотодиода, работающего в режиме фотопреобразователя, содержащие: экспериментальные данные в таблицах 2 и 3; соответствующие графики вольт-амперных и световых характеристик; расчет статической интегральной чувствительности фотодиода, работающего в режиме фотопреобразователя.

5.5 Результаты определения статических вольт-амперных и световых характеристик фотодиода, работающего в режиме фотогенератора, содержащие: экспериментальные данные в таблицах 4,5 и 6; соответствующие графики вольт-амперных, световых характеристик и напряжения холостого хода; расчет интегральной чувствительности фотодиода по току и по напряжению.



## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5

### ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМ ВКЛЮЧЕНИЯ ТЕНЗОРЕЗИСТИВНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ И ДАТЧИКОВ НА ИХ ОСНОВЕ

#### 1. Цель работы

Изучение принципа действия, характеристик, схем включения и погрешностей тензометрических измерительных преобразователей.

#### 2. Краткие сведения из теории

В основе работы тензорезисторов лежит явление тензоэффекта, заключающееся в изменении сопротивления проводников и полупроводников при их механической деформации. Тензорезистор представляет отрезок электрической цепи, физически выполненной в виде проволоки или другой конфигурации проводника (полупроводника), который жестко закреплен (например, клеем) на поверхности упруго деформируемой детали. Проводник совместно с деталью испытывает деформации сжатия или растяжения, в результате чего изменяется его длина  $l$ , поперечное сечение  $S$  и удельное сопротивление  $\rho$ . В исходном состоянии сопротивление проводника:  $R = \rho (l / S)$ , а при его деформации изменится на  $\Delta R$ .

Относительное изменение сопротивления тензорезистора:

$$\varepsilon_R = \Delta R / R = \Delta R / \rho + \Delta l / l - \Delta S / S$$

При относительном удлинении  $\varepsilon_l = \Delta l / l$  относительное изменение площади сечения:  $\varepsilon_S = \Delta S / S = -2\mu \cdot \varepsilon_l$ , где  $\mu$  - коэффициент Пуассона, представляющий собой коэффициент пропорциональности между относительным продольным и поперечным удлинениями.

Следовательно, относительное изменение сопротивления может быть выражено формулой:  $\varepsilon_R = \Delta \rho / \rho + (1 + 2\mu) \cdot \varepsilon_l$

У металлов удельное сопротивление при деформации практически не изменяется, так как количество основных носителей заряда почти не изменяется. Изменение сопротивления металлических тензорезисторов поэтому происходит только вследствие изменения геометрических размеров:  $\varepsilon_R = (1 + 2\mu) \varepsilon_l = SR \varepsilon_l$ , где  $SR = (1 + 2\mu)$  - коэффициент тензочувствительности, являющийся основной характеристикой тензорезисторов.



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

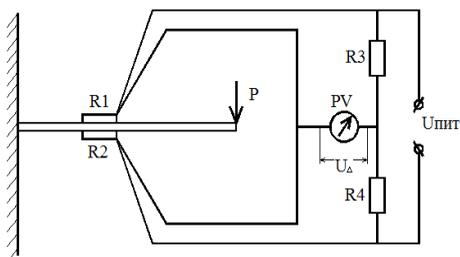
Для металлов коэффициент Пуассона  $\mu = (0,24 \dots 0,4)$ , следовательно, для металлов коэффициент тензочувствительности  $S_R = (1,5 \dots 1,8)$ , а на практике составляет  $(2,2 \dots 2,4)$ .

Статическую характеристику тензопреобразователей (т.е. зависимость изменения сопротивления от деформации  $\varepsilon_R = f(\varepsilon)$ ), в первом приближении, можно считать линейной.

В зависимости от конструктивных особенностей и технологии производства металлические тензорезисторы могут быть проволочные, фольговые, пленочные. Проволочные тензорезисторы представляют собой элементы из тонкой проволоки диаметром  $0,015 + 0,06$  мм со сравнительно большим удельным сопротивлением, уложенной в виде петель и клеенной между двумя тонкими подкладками толщиной  $0,02 + 0,05$  мм. К концам проволоки припаяны два медных вывода. Для наклейки тензорезисторов используются специальные клеи, например, циакрин ЭО, клей ВС-350. В случае длительной работы тензорезисторов в условиях повышенной влажности или химически агрессивной среды необходимо применять защитные покрытия. Чаще всего для покрытия также применяются клеи.

Наиболее распространенной измерительной схемой для тензорезисторов является мостовая, которая позволяет получать достаточный выходной сигнал при малом ( $\approx 0,5\%$ ) изменении сопротивления тензорезистора. Кроме того, мостовая схема позволяет компенсировать температурную погрешность нуля и чувствительность путем включения пар тензорезисторов в смежные плечи моста.

Рассмотрим схему динамометра для измерения силы  $P$ , состоящего из упругой балки, на которой с двух сторон (рис. 1) наклеены тензорезисторы  $R_1$  и  $R_2$ , характеристики которых идентичны, при этом  $R_1 = R_2 = R_0$  в свободном состоянии.



**Рисунок 1.**

Резисторы включены в мостовую схему с плечами  $R_1, R_2, R_3, R_4$ ; напряжение разбаланса измеряется прибором PV. При измеряемой силе  $P = 0$  мост балансируется так, что  $U_{\Delta} = 0$ . При этом справедливо условие равновесия моста:  $R_1 R_4 = R_2 \cdot R_3$ .

При изменении сопротивлений плеч моста напряжение разбаланса  $U_{\Delta}$  пропорционально разности правой и левой частей



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

приведенного уравнения. При изменении температуры сопротивления тензорезисторов изменяются одинаково на  $\Delta R_t$ , и условие равновесия моста остается справедливым:  $(R_1 + \Delta R_t) \cdot R_4 = R_2 + \Delta R_t \cdot R_3$ , и напряжение разбаланса  $U_{\Delta}$  остается нулевым.

При деформации балки один тензорезистор растягивается и его сопротивление увеличивается, другой сжимается и его сопротивление уменьшается на ту же величину, и условие равновесия нарушается:  $(R_1 + \Delta R) \cdot R_4 \neq (R_2 - \Delta R) \cdot R_3$ , причем напряжение разбаланса в два раза больше, чем если бы в мост был бы включен только один тензорезистор.

Отсюда можно сделать два вывода:

- температурная погрешность нуля мостовой схемы компенсируется при включении двух тензорезисторов в соседние плечи;

- чувствительность схемы увеличивается в два раза при дифференциальном включении тензорезисторов в соседние плечи моста.

Аналогичные результаты при включении в мост и четырех тензорезисторов.

Основные преимущества тензопреобразователей: возможность применения для измерения статических и динамических деформаций; простота конструкции и малая стоимость; простота и надежность крепления; малогабаритность.

Основные недостатки тензопреобразователей: возможность измерения деформаций только в пределах упругих деформаций проволоки датчика; невозможность переноса тензорезистора с одной детали на другую; появление погрешности измерения из-за наличия индуктивной составляющей сопротивления тензопреобразователей при работе в цепях переменного тока повышенной частоты.

### 3. Порядок выполнения работы

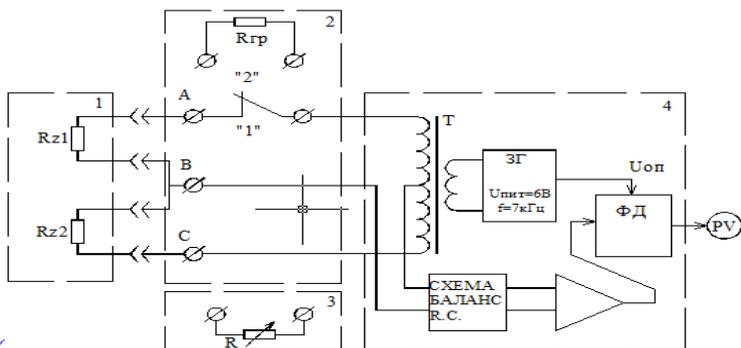


Рисунок 2.



3.1. Для снятия характеристик тензопреобразователей используйте электрическую схему (рис. 2), на которой введены следующие обозначения:

1 - исследуемая балка с приклеенными к ней тензопреобразователями  $Rz_1$  и  $Rz_2$ , образующими два плеча моста.

2 - стенд с клеммами для подключения резисторов  $Rz_1$  и  $Rz_2$ , и тумблером  $S_1$ ;

3 - магазин сопротивлений, позволяющий набирать заданное сопротивление с точностью до 0.01 Ом;

4 - тензометрический усилитель, внутри которого выполнены два других плеча моста  $Z_3$  и  $Z_4$ , источник питания измерительного моста, представляющий собой генератор синусоидальных колебаний ЗГ амплитудой 6 В и частотой 7 кГц, схему балансировки моста по активной составляющей (потенциометр  $R$ ) и по реактивной составляющей (потенциометр  $R$ ), усилитель напряжения разбаланса, фазовый детектор ФД;

5 - указатель равновесия моста PV.

Подключение исследуемых тензодатчиков  $Rz_1$  и  $Rz_2$  к электрической схеме на стенде производится при помощи штепсельного разъема X1.

3.2. Тумблер  $S_1$  установите в положение "1", что соответствует включению в плечи моста обоих тензопреобразователей  $Rz_1$  и  $Rz_2$ .

3.3. Включите стенд и тумблер "Сеть" на панели тензометрического усилителя поставьте в положение "Вкл."

3.4 Уравновесьте мостовую схему, добившись нулевого показания PV, вращая рукоятку "Баланс моста" (потенциометры  $R$  и  $C$ ) на панели тензометрического усилителя.

3.5 Тумблер  $S_1$  установите в положение "2", что соответствует включению в плечи моста только одного тензопреобразователя  $Rz_2$ .

3.6 Подключите вместо первого тензопреобразователя  $Rz_1$  к клеммам "В" и "С" резистор  $R$ , представляющий собой магазин сопротивлений. Изменяя сопротивление магазина, опять необходимо уравновесить мост. Таким образом, методом замещения измеряется начальное сопротивление тензорезистора  $Rz_0$ .

3.7 Произведите градуировку показывающего прибора PV. Для этого при сбалансированном мосте подключите параллельно тензорезистору  $Rz_1$  градуировочное сопротивление  $R_{гр}$  к клеммам "А" и "В" и запишите величину угла отклонения стрелки пока-



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

зываются прибором  $\alpha_{гр}$  в делениях шкалы. При шунтировании преобразователя градуировочным сопротивлением сопротивление плеча моста уменьшается на величину  $\Delta Z'$ , которая составляет:  $\Delta Z' = R_{z1} - (R_{z1} \cdot R_{гр}) / (R_{z1} + R_{гр}) = R_{z1}^2 / (R_{z1} + R_{гр})$ . После этого отключите градуировочное сопротивление.

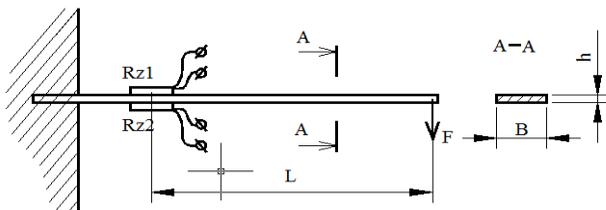


Рисунок 3.

3.8. При помощи набора гирь на конце балки создается нагрузка  $F$ . При деформации балки равновесие моста нарушается и стрелка показывающего прибора отклоняется на некоторый угол  $\alpha$ , пропорциональный приращению сопротивления тензопреобразователя:  $\Delta Z = k \cdot (\Delta Z \cdot \alpha) / \alpha_{гр}$ , где  $\alpha$  - отклонение стрелки под действием груза  $F$ ,  $k = 1$  - при включении одного преобразователя,  $k = 0,5$  - для двух. Результаты заносятся в таблицу 1.

3.9 Эксперимент по пункту 3.8 провести при 1-ом положении тумблера  $S1$ , т.е. при 2-х включенных в плечи моста тензопреобразователях и при 2-ом положении тумблера  $S1$ , т.е. при включении в мост только одного тензорезистора.

Перед проведением эксперимента проведите уравнивание моста с помощью рукоятки "Баланс моста" на панели тензометрического усилителя.

3.10 Определите величины механических напряжений, возникающих в материале балки:  $\sigma_{\max} = \epsilon_R E = (\Delta Z E) / (R_{z0} \cdot S_R)$ , где  $E$  - модуль упругости первого рода; для стали  $E = 2 \cdot 10^{11}$  Па;  $S_R = 2,4$  - коэффициент тензочувствительности для проволоочного тензорезистора.

3.11. Определите расчетное значение механического напряжения, возникающего в материале балки (рис. 3):  $\sigma_{\text{теор}} = (6F \cdot L) / (b \cdot h^2)$ , где  $F$  - прикладываемая к балке сила, Н;  $L$  - расстояние от точки приложения силы до точки заделки балки, м;  $b$  - средняя ширина балки, м;  $h$  - толщина балки, м.

3.12. Сравните экспериментальное и расчетное значение напряжений и вычислите относительную погрешность измерений:

$$\Delta_{\text{отн}} = |(\sigma_{\text{теор}} - \sigma_{\text{эк}}) / \sigma_{\text{теор}}| \cdot 100\%$$

Результаты измерений и вычислений занесите в таблицу 1.



## Измерительные преобразователи и датчики, Система измерений в медико-биологической практике.

3.12 Постройте график  $\sigma(F)$  для случая включения одного и двух тензопреобразователей в плечи моста.

3.13 Убедитесь в увеличении чувствительности примененной схемы при включении 2-х тензопреобразователей в плечи моста по сравнению со случаем включения одного тензопреобразователя.

### 4. Содержание отчета

4.1. Конструкция тензорезистора с его основными параметрами, конструкция тензорезистивного датчика силы, электрическая схема включения тензопреобразователя.

4.2. Таблица результатов измерения (таблица 1).

4.3 Графики зависимостей  $\sigma_{\text{экс}}$  и  $\sigma_{\text{теор}}$  при включении одного и двух тензопреобразователей (в одинаковых координатных осях).

4.4. Вывод об изменении чувствительности мостовой цепи в зависимости от количества тензопреобразователей, включенных в плечи моста.

Таблица 1.

F, Н	$R_{Z0}$ , Ом	$R_{гд}$ , кОм	$\alpha_{гд}$ , дел	$\Delta Z'$ , Ом	$\alpha$ , дел	$\sigma_{\text{экс}}$ кг/м <sup>2</sup>	$\sigma_{\text{теор}}$ кг/м <sup>2</sup>	$\Delta Z$ , Ом	$\Delta_{\text{отн}}$ , %
2-ое положение тумблера $S_1$ (включен один тензорезистор)									
1									
2									
3									
4									
5									
1-ое положение тумблера $S_1$ (включены два тензорезистора)									
1									
2									
3									
4									
5									