

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

# ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

*Методические рекомендации к лабораторным работам  
для студентов специальности  
7-06-0714-02 «Инновационные технологии в машиностроении»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2025

УДК 681.2  
ББК 34.9  
Т38

Рекомендовано к изданию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Транспортные и технологические машины»  
«24» марта 2025 г., протокол № 8

Составитель ст. преподаватель В. И. Сёмчен

Рецензент канд. техн. наук, доц. О. В. Благодарная

Методические рекомендации к лабораторным работам предназначены  
для студентов специальности 7-06-0714-02 «Инновационные технологии  
в машиностроении» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

## ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	И. В. Голубцова
Компьютерная верстка	Е. В. Ковалевская

Подписано в печать . Формат 60×84/16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 36 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет».  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2025

## Содержание

Введение.....	4
1 Лабораторная работа № 1. Изучение измерительных средств с механическим преобразованием.....	5
2 Лабораторная работа № 2. Датчики для определения перемещений и ускорений.....	10
3 Лабораторная работа № 3. Тензодатчики, определение деформаций....	17
4 Лабораторная работа № 4. Ультразвуковые датчики, определение толщины.....	24
5 Лабораторная работа № 5. Датчики для определения угловой скорости.....	28
6 Лабораторная работа № 6. Осциллографы.....	32
7 Лабораторная работа № 7. Использование ЭВМ в качестве регистрирующего прибора.....	38
8 Лабораторная работа № 8. Сборка измерительных схем.....	41
9 Лабораторная работа № 9. Калибровка и тарировка средств измерений, определение погрешности измерений.....	43
Список литературы.....	47

## **Введение**

Целью лабораторных работ по дисциплине является получение студентами практических навыков проведения технических измерений и обработки их результатов.

Подготовка к каждой лабораторной работе заключается в самостоятельном изучении учебников, специальной литературы, конспектов лекций, методических рекомендаций и иных материалов по заданной теме.

Организация лабораторных работ предполагает тщательное изучение по каждой теме методических рекомендаций и самостоятельное проведение исследований в присутствии преподавателя.

Отчет по каждой работе оформляется на двойном листе тетради. Во время защиты отчет предъявляется, а после нее сдается преподавателю.

# 1 Лабораторная работа № 1. Изучение измерительных средств с механическим преобразованием

**Цель работы:** изучить средства измерительного контроля с механическим преобразованием; получить навыки их применения.

## 1.1 Общие сведения

Одним из основных видов контроля при изготовлении и испытаниях продукции является измерительный контроль. Измерениям подвергаются размеры деталей и узлов, и результаты сравниваются с проектными параметрами, указанными в конструкторской документации.

Средства измерений и контроля с механическим преобразованием основаны на преобразовании малых перемещений измерительного стержня в большие перемещения указателя (стрелки, шкалы и т. д.). В зависимости от типа механизма они подразделяются на рычажно-механические (рычажные), зубчатые, рычажно-зубчатые пружинные и пружинно-оптические.

Универсальные измерительные средства с механическим преобразованием в зависимости от вида измеряемого размера можно разделить на средства измерения наружных и внутренних размеров; в зависимости от конструктивного оформления и области назначения – на измерительные головки и измерительные средства с корпусом в виде скобы.

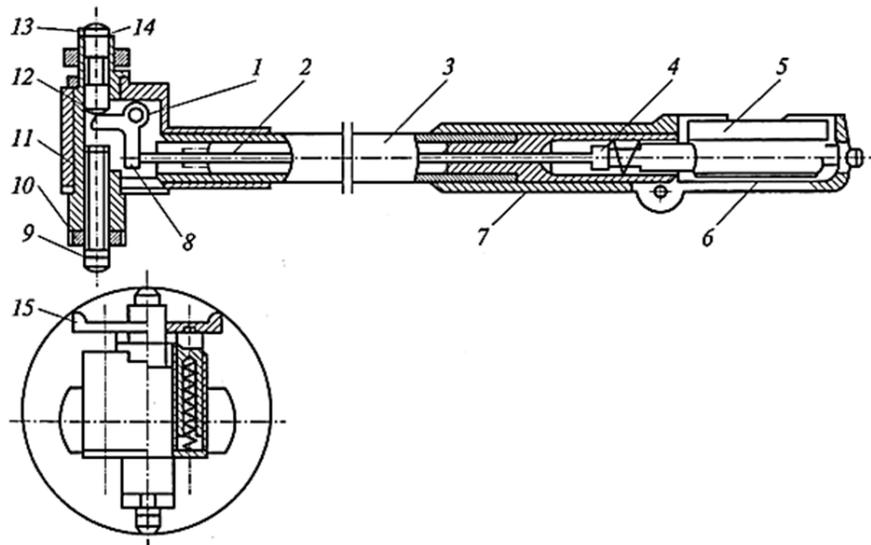
Рычажно-механические приборы применяют главным образом для относительных измерений, проверки радиального и торцового биения, а также для контроля отклонений формы деталей (отклонение от круглости – овальность, огранка; отклонение от цилиндричности – конусность, бочкообразность, седлообразность; отклонение от плоскостности – вогнутость, выпуклость и др.).

К рычажно-механическим приборам относятся индикаторные нутромеры (рисунок 1.1), предназначенные для относительных измерений отверстий от 3 до 1000 мм. Они состоят из корпуса 11, отсчетного устройства 5 (индикатора), подвижного (измерительного) 13 и неподвижного (регулируемого) 9 стержней, равноплечего (Г-образного) рычага 8, центрирующего мостика 15 и подвижного штока 2. При измерении отверстия стержень 13, перемещаясь в направлении, перпендикулярном оси отверстия, поворачивает Г-образный рычаг 8 вокруг оси и перемещает на ту же величину шток 2 и измерительный наконечник индикатора 5. Перемещение стрелки индикатора указывает на отклонение действительного размера проверяемого отверстия от размера настройки нутромера. Установка индикатора на нуль осуществляется либо по установочному кольцу, либо по блоку концевых мер с боковиками, которые зажимаются в державке.

Выпускают индикаторные нутромеры с ценой деления 0,01 (ГОСТ 868–82) и нутромеры с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (ГОСТ 9244–75).

Для абсолютных измерений нашли широкое применение индикаторы – индикаторные измерительные головки с зубчатой передачей, отсчетные устрой-

ства, преобразующие малые перемещения измерительного наконечника в большие перемещения стрелки и имеющие шкалу, по которой отсчитываются величины перемещений наконечника. Также существуют измерительные головки, в которых значение перемещения измерительного наконечника отсчитывается по электронному цифровому устройству.



1 – ось вращения рычага; 2 – шток; 3 – трубка; 4, 14 – пружины; 5 – отсчетное устройство (индикатор); 6 – кожух; 7 – рукоятка; 8 – рычаг; 9 – неподвижный (регулируемый) стержень; 10 – контргайка; 11 – корпус; 12 – шарик; 13 – подвижный (измерительный) стержень; 14 – риска; 15 – центрирующий мостик

Рисунок 1.1 – Конструкция индикаторного нутромера

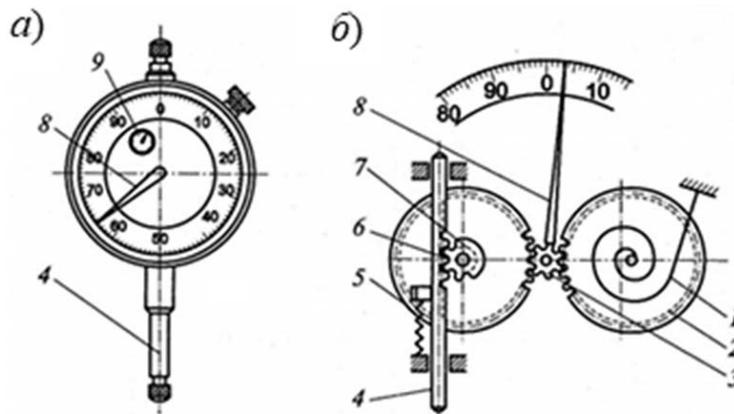
В качестве отдельного измерительного устройства головки использоваться не могут, и для измерения их устанавливают в специальных приборах, где требуется отсчитать какие-либо перемещения. Поэтому их часто называют «отсчетные головки».

Измерительные головки имеют присоединительные части в виде цилиндра для установки в измерительном устройстве.

Широкое распространение получили головки, в которых используются преобразующие механизмы, содержащие в себе только зубчатые передачи, рычажные вместе с зубчатыми передачами и передачи с пружинными механизмами.

Измерительной головкой, имеющей механизм увеличивающего устройства в виде только зубчатых передач, является индикатор часового типа. Индикаторы часового типа (ГОСТ 577–68) (рисунок 1.2) содержат стержень 4 с нарезанной зубчатой рейкой 6, зубчатые колеса 2, 3, 5 и 7, спиральную пружину 1, стрелку 8. Возвратно-поступательное перемещение измерительного стержня 4 преобразуется в круговое движение стрелки 8.

Один оборот стрелки соответствует перемещению измерительного стержня на 1 мм. Целые миллиметры отсчитываются по шкале при помощи стрелки 9. Шкала прибора имеет 100 делений, цена деления индикатора равна 0,01 мм.

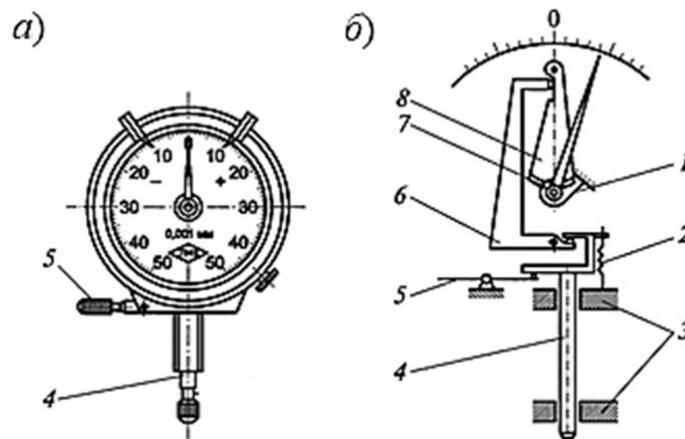


1 – спиральная пружина; 2, 3, 5, 7 – зубчатые колеса; 4 – стержень; 6 – зубчатая рейка; 8, 9 – стрелки

Рисунок 1.2 – Индикатор часового типа (а) и его схема (б)

Индикаторы часового типа выпускают двух классов точности (0 и 1) в двух модификациях: индикаторы типа ИЧ с перемещением измерительного стержня параллельно шкале и индикаторы типа ИТ с перемещением измерительного стержня перпендикулярно шкале. Выпускают также индикаторы часового типа с цифровым (электронным) отсчетом.

К приборам с рычажно-зубчатой передачей относятся рычажно-зубчатые измерительные головки, рычажные скобы, рычажные микрометры и т. д. Эти приборы предназначены для относительных измерений наружных поверхностей. Рычажно-зубчатые измерительные головки (рисунок 1.3) отличаются от индикаторов часового типа наличием наряду с зубчатой передачей рычажной системы, позволяющей увеличить передаточное число механизма и тем самым повысить точность измерений.



1 – спиральная пружина; 2 – пружина; 3 – направляющие втулки; 4 – измерительный стержень; 5 – арретир; 6, 8 – рычаги; 7 – зубчатое колесо

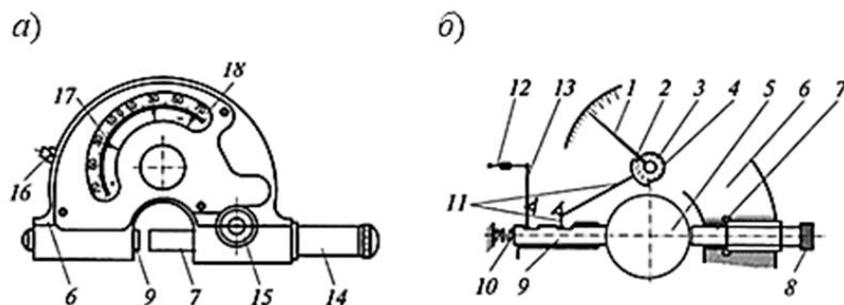
Рисунок 1.3 – Рычажно-зубчатая измерительная головка (а) и ее схема (б)

При перемещении измерительного стержня *4* в двух точных направляющих втулках *3* поворачивается рычаг *6*, который воздействует на рычаг *8*, имеющий на большем плече зубчатый сектор, входящий в зацепление с зубчатым колесом (трибом) *7*. На оси триба установлена стрелка с втулкой, связанная со спиральной пружиной *1*, выбирающей зазор. Измерительное усилие создается пружиной *2*. Для арретирования измерительного стержня служит арретир *5*.

Выпускают рычажно-зубчатые однооборотные и многооборотные измерительные головки с ценой деления 0,001 и 0,002 мм (ГОСТ 9696–82). Многооборотные головки применяют в тех случаях, когда требуются высокая точность и большой диапазон измерения.

ГОСТ 5584–75 предусматривает выпуск рычажно-зубчатых индикаторов с ценой деления 0,01 мм с изменяемым положением измерительного рычага относительно корпуса.

В рычажных скобах (ГОСТ 11098–75) (рисунок 1.4) в процессе измерения подвижная пятка *9*, перемещаясь, воздействует на измерительный рычаг *11*, зубчатый сектор которого поворачивает зубчатое колесо *4* и стрелку *1*, неподвижно закрепленную на его оси. Спиральная пружина *3* постоянно прижимает зубчатое колесо к зубчатому сектору, устраняя таким образом зазор. Микровинт для настройки *8* служит для установки прибора на нуль по блоку концевых мер. Выпускают также рычажные скобы с цифровым отсчетом измеряемой величины в миллиметрах, десятых и сотых долях миллиметра.



*1* — стрелка; *2* — зубчатый сектор; *3* — спиральная пружина; *4* — зубчатое колесо; *5* — объект измерения; *6* — корпус; *7* — неподвижная (регулируемая) пятка; *8* — микровинт для настройки; *9* — подвижная пятка — стержень арретира; *10* — пружина; *11* — измерительный рычаг; *12* — стержень арретира; *13* — рычаг арретира; *14* — предохранительный чехол; *15* — гайка фиксатора; *16* — кнопка арретира; *17* — шкала; *18* — указатель предела действительных отклонений

Рисунок 1.4 — Рычажная скоба-пассаметр (а) и ее схема (б)

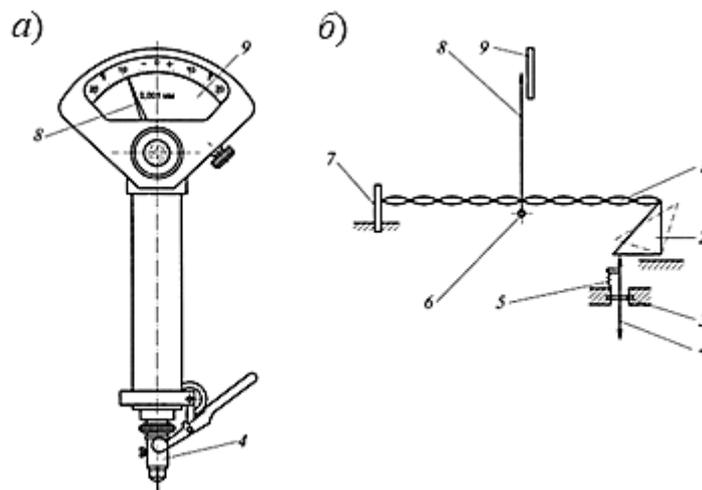
Рычажные микрометры (ГОСТ 4381–87) аналогичны рычажным скобам и отличаются от них лишь наличием микрометрической головки для отсчета измеряемой величины в миллиметрах, десятых и сотых долях миллиметра.

К приборам с пружинной передачей (ГОСТ 28798–90) относятся измерительные пружинные головки (микроматоры), малогабаритные измерительные головки (микаторы) и рычажно-пружинные измерительные головки бокового действия (миникаторы). Эти приборы предназначены для относительных измерений

размеров, проверки отклонений деталей от правильной геометрической формы с высокой точностью, а также для проверки и наладки средств активного контроля.

Приборы этого типа построены по принципу использования в передаточных механизмах упругих свойств скрученной фосфористой бронзовой ленты шириной 0,1...0,2 и толщиной 0,008...0,015 мм.

Измерительные пружинные головки (микрокаторы) (рисунок 1.5) обладают значительными преимуществами перед другими типами подобных приборов: высокой чувствительностью, малой силой измерения, незначительной погрешностью обратного хода, высокой надежностью механизма. Основные недостатки этих головок: неудобство отсчета показаний по слишком тонкой стрелке и наличие вибраций стрелки, что увеличивает ошибки измерений. В измерительной пружинной головке пружинная бронзовая лента 1 относительно стрелки 8 закручена в разные стороны и правым концом прикреплена к пружинному угольнику 2, а левым – к плоской пружине 7.



1 – пружинная бронзовая лента; 2 – пружинный угольник; 3 – мембрана; 4 – измерительный стержень; 5 – пружина; 6 – противовес; 7 – плоская пружина; 8 – стрелка; 9 – шкала

Рисунок 1.5 – Измерительная пружинная головка (а) и ее схема (б)

При перемещении измерительного стержня 4 поворачивается пружинный угольник 2, что приводит к растяжению пружинной бронзовой ленты 1 и повороту прикрепленной к ней в середине стрелки относительно шкалы 9. Стрелка сбалансирована с помощью противовеса 6. Сила измерения создается пружиной 5. Измерительный стержень 4 подвешен к корпусу головки на мембране 3 и пружинном угольнике 2.

## 1.2 Порядок выполнения работы

1 Изучить конструкцию и принцип работы измерительных средств с механическим преобразованием.

2 По заданию преподавателя выполнить измерения с использованием индикатора часового типа, скобы и штангенциркуля, результаты представить в форме таблицы, сравнить данные результатов измерений.

3 Оценить погрешность измерений.

### ***1.3 Содержание отчета***

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Таблица с результатами измерений.

4 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

1 Как классифицируют измерительные средства с механическим преобразованием?

2 Какие виды измерительных средств с механическим преобразованием применяют при измерении внутренних размеров?

3 Назовите преимущества и недостатки различных измерительных средств с механическим преобразованием.

4 Какие измерительные средства относят к приборам с пружинной передачей?

5 Чем отличаются рычажно-зубчатые измерительные головки от индикаторов часового типа?

6 Как устроены и работают различные виды измерительных средств с механическим преобразованием?

7 Какова методика проведения измерений с использованием различных приборов?

## **2 Лабораторная работа № 2. Датчики для определения перемещений и ускорений**

**Цель работы:** изучить типы, устройство и принцип работы датчиков для определения перемещений и ускорений; получить навыки их применения.

### ***2.1 Общие сведения***

Датчиком (первичным преобразователем) называют устройство, предназначенное для преобразования измеряемой неэлектрической величины в электрический сигнал, которые связаны функциональной зависимостью, желательной линейной.

По назначению датчики различают:

– механические, которые преобразуют механические параметры в электрический сигнал;

- тепловые;
- акустические;
- световые;
- химические и др.

По принципу действия датчики делят на:

- 1) генераторные – вырабатывают ЭДС;
- 2) параметрические – изменяют электрическое сопротивление, индуктивность или иной электрический параметр.

К датчикам предъявляют следующие требования:

- необходимая чувствительность к измеряемой величине;
- стабильность работы;
- достаточный частотный диапазон;
- компактность;
- малое потребление электроэнергии;
- нечувствительность к изменению неизмеряемых параметров.

Применяют следующие типы датчиков перемещения:

- емкостные;
- потенциометрические;
- оптические;
- индуктивные;
- ультразвуковые.

В ультразвуковых датчиках реализован принцип радара – фиксируются отраженные от объекта ультразвуковые волны. Такие датчики содержат источник и приемник ультразвуковых волн в общем корпусе. Определение временной задержки между моментами отправки и приема ультразвукового импульса позволяет измерять расстояние до объекта с точностью, достигающей до десятых долей миллиметра.

Оптические датчики в большинстве основаны на принципе оптической триангуляции – датчик положения является дальномером, который определяет расстояние до интересующего объекта, фиксируя рассеянное по поверхности объекта излучение и определяя угол отражения, что даст возможность определить расстояние до объекта. Важным достоинством большинства оптических датчиков является возможность производить бесконтактные измерения. Кроме того, такие датчики обычно довольно точны и имеют высокое быстродействие, но дают неточный результат или не функционируют в условиях загрязненной среды измерения.

Потенциометрические (реостатные) датчики преобразуют линейные и угловые перемещения в электрический сигнал и представляют собой переменное электрическое сопротивление, величина которого зависит от положения токоъемного устройства. Могут работать в измерительных цепях постоянного и переменного тока. Входной величиной датчика является перемещение или угол поворота движка, тогда как выходной величиной можно считать сопротивление, ток или напряжение.

Потенциометры бывают проволочные и непроволочные. Потенциометрическим проволочным датчикам присуще наличие зоны нечувствительности, которая обусловлена диаметром токопроводящей проволоки.

Реостатные датчики не имеют ограничений по частоте исследуемого процесса, имеют линейную характеристику, но требуют внешней схемы для питания.

Емкостные датчики имеют чувствительный элемент в виде конденсатора и применяются для измерения толщины различных материалов, уровней жидкости и сыпучих материалов, размеров деталей, давлений, ускорений, вибраций и т. д. Наиболее часто емкостные датчики применяют для измерения перемещений.

Электрическая емкость конденсатора определяется соотношением

$$C = \frac{\varepsilon A}{\delta}, \quad (2.1)$$

где  $\varepsilon$  – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды между пластинами (обкладками) конденсатора (датчика), Ф/м;

$A$  – взаимно перекрываемая площадь обкладок конденсатора, м<sup>2</sup>;

$\delta$  – расстояние между обкладками конденсатора, м.

Работа емкостного датчика основана на зависимости изменения электрической ёмкости конденсатора от воздействия измеряемой величины.

В зависимости от того, на какой параметр влияет измеряемая величина, различают емкостные датчики (рисунок 2.1) с изменением:

- площади ( $a$ );
- расстояния ( $b$ );
- диэлектрической проницаемости ( $в$ ).

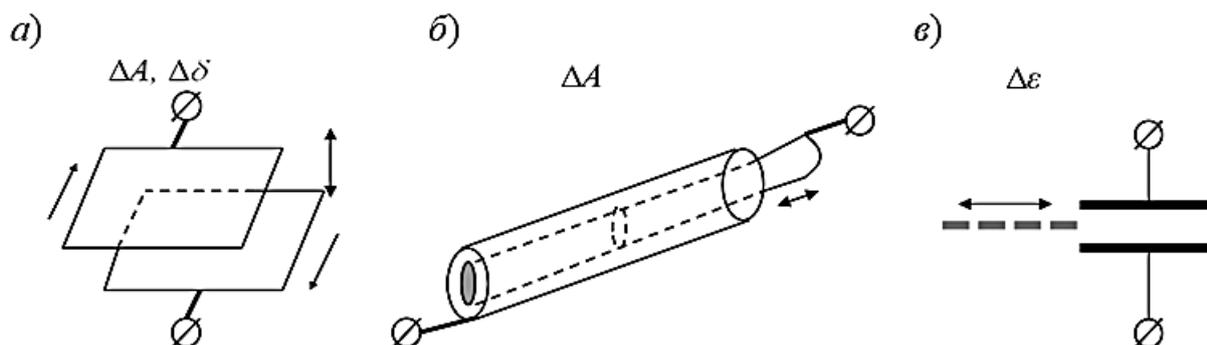


Рисунок 2.1 – Схемы ёмкостных датчиков

Для датчиков с плоскими обкладками применяют как изменение площади перекрытия  $\Delta A$ , так и расстояния  $\Delta \delta$  между обкладками, а в цилиндрических – только  $\Delta A$ . В зависимости от наличия или отсутствия постороннего предмета между обкладками изменяются средняя диэлектрическая проницаемость окружающей обкладки среды  $\varepsilon$  и, следовательно, емкость конденсатора.

Емкость таких датчиков очень мала и для уменьшения емкостного сопротивления и увеличения мощности сигнала такие датчики включают в измерительные цепи, работающие на переменном токе высокой частоты.

К преимуществам емкостных датчиков относят простоту конструкции, высокую надежность, высокую чувствительность, линейность характеристики в широком диапазоне перемещений (от сотых долей микрометра до десятков миллиметров).

Недостатками емкостных датчиков считают погрешности, обусловленные паразитными емкостями соединительных проводов, что требует их тщательного экранирования, сложность измерительной схемы.

В технических измерениях для определения перемещений широко применяют и индуктивные датчики, в которых под влиянием какого-либо воздействия изменяется индуктивное сопротивление. Индуктивные датчики относятся к классу параметрических и имеют линейную рабочую характеристику.

Такой датчик представляет собой электрический дроссель с изменяющимся воздушным зазором магнитопровода  $\delta$  (рисунок 2.2, а) или площадью поперечного сечения магнитопровода  $A$  (рисунок 2.2, б, в).

Преобразование механического перемещения в электрический сигнал состоит в том, что вследствие перемещения якоря и изменения величины воздушного зазора, площади перекрытия и других параметров изменяются магнитное сопротивление магнитной цепи датчика и, следовательно, индуктивное и полное сопротивления обмотки. Соответственно, изменится величина регистрируемого прибором тока.

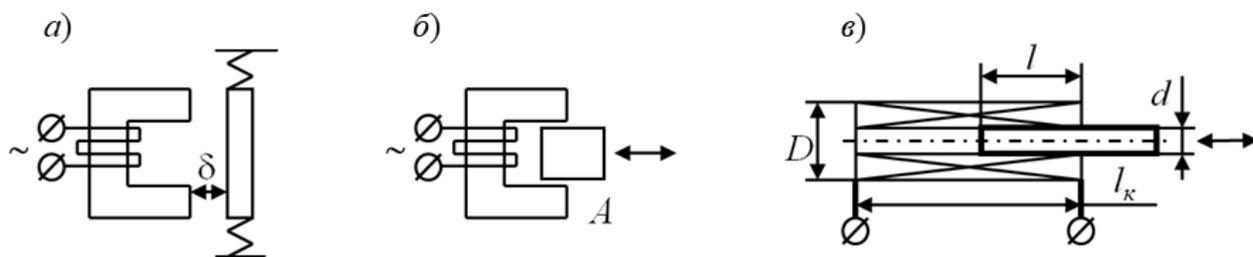


Рисунок 2.2 – Схемы индуктивных датчиков

Индуктивные датчики с изменением зазора применяют для регистрации небольших перемещений (от 0,01 до 2 мм), т. к. при больших зазорах их характеристики становятся существенно нелинейными. Для фиксации перемещений от 2 до 200 мм применяют датчики с изменением площади, например, соленоидного типа.

Оценить индуктивность соленоидного датчика (см. рисунок 2.2, в) можно с помощью формулы

$$L = \frac{\mu_{жс} w^2 (D - d) l}{l_k}, \quad (2.2)$$

где  $w$  – число витков катушки;

$l$  – глубина погружения сердечника, м;  
 $l_k$  – длина катушки, м;  
 $\mu_{жс}$  – магнитная проницаемость сердечника, Гн/м;  
 $D$  – диаметр витков катушки, м;  
 $d$  – диаметр сердечника, м.  
 Полное сопротивление индуктивного датчика

$$Z = \sqrt{R^2 + f^2 L^2}, \quad (2.3)$$

где  $R$  – активное сопротивление обмотки датчика, Ом;  
 $f$  – частота электрического тока в цепи, Гц.

Чувствительность индуктивного датчика определяется соотношением

$$S_L = \frac{L}{d}. \quad (2.4)$$

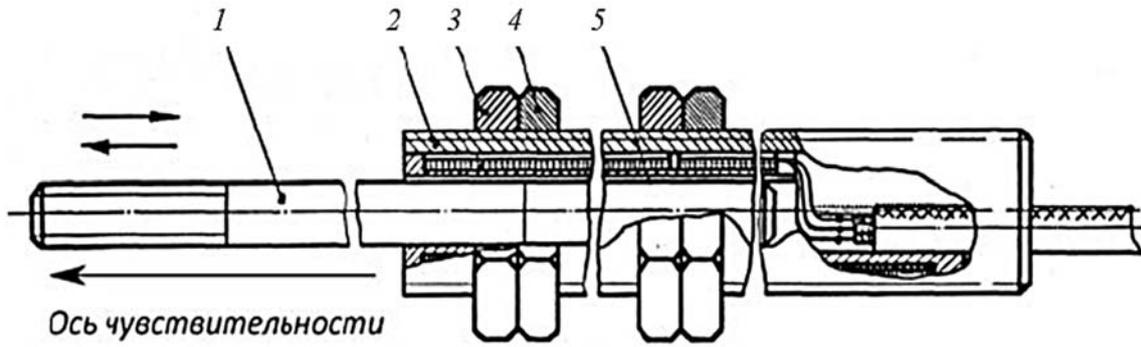
Трансформаторные датчики являются разновидностью индуктивных преобразователей, в которых входная механическая величина преобразуется в электрическую. Принцип их действия основан на изменении взаимной индуктивности обмоток при перемещении относительно друг друга или при перемещении якоря датчика.

Датчик представляет собой две системы обмоток с Ш-образным магнитопроводом и подвижным якорем. Первичная система обмоток трансформаторного датчика питается переменным током, а со вторичной снимается выходной сигнал, значение которого определяется индуктивной связью между двумя обмотками. Среднее квадратическое значение ЭДС, наводимой во вторичной обмотке потоком первичной обмотки, известно.

Трансформаторные датчики подразделяются на две основные группы в зависимости от способа изменения взаимной индуктивности: с перемещающимся якорем и с перемещающейся обмоткой.

В измерительной технике наиболее распространены дифференциально-трансформаторные датчики. Различают дифференциально-трансформаторные датчики с цилиндрической формой (например, датчики перемещения ДП, рисунок 2.3) и плоской формой магнитопровода (например, датчик ускорения ДУ, рисунок 2.4).

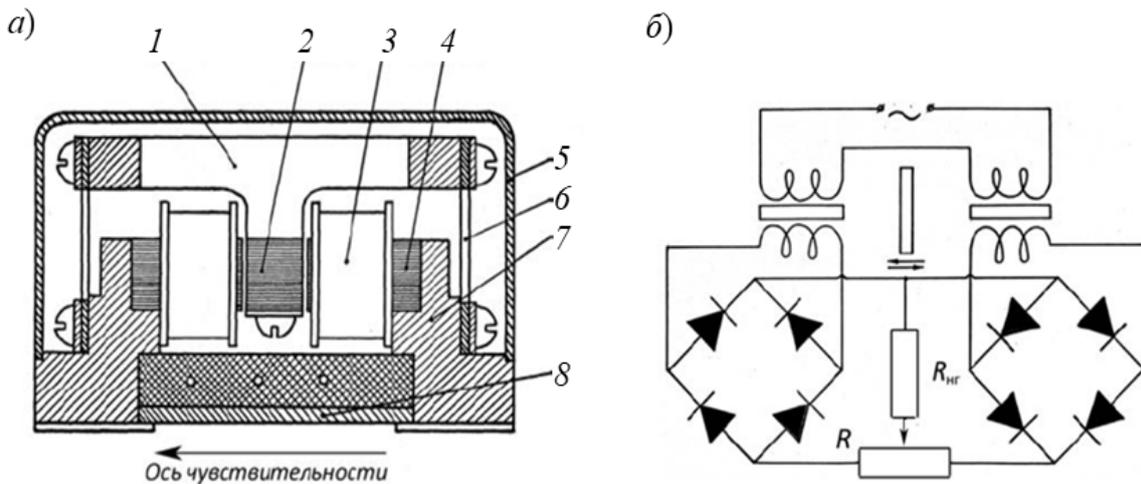
Датчики перемещения ДП относятся к датчикам с кинематическим принципом отсчета. Корпус датчика 2 закрепляется на неподвижном основании с помощью гаек 3 и контргаяк 4. Измеряется относительное перемещение в паре «корпус датчика – стержень». В корпусе на катушке 5 находятся обмотки дифференциально-трансформаторной схемы. Подвижный цилиндрический стержень-якорь 1 крепится на объекте, колебания которого измеряются. Крепление осуществляется с помощью резьбового соединения. Ось чувствительности датчика совпадает с осью стержневого элемента.



1 – цилиндрический стержень-якорь; 2 – корпус датчика; 3 – гайка крепления датчика; 4 – контргайка; 5 – катушка

Рисунок 2.3 – Конструкция индуктивного датчика перемещения серии ДП с цилиндрической формой магнитопровода

Датчик ДУ (см. рисунок 2.4, а) является датчиком с динамическим отсчетом. Он состоит из измерительного осциллятора с массой-якорем 1, четырех ленточных пружин 6, сердечников 2 и 4, двух катушек 3 с четырьмя обмотками, основания 7, закрепляемого на объекте, крышек – верхней 5 и нижней 8. Двухсекционная первичная обмотка питается от встроенного в виброизмеритель генератора синусоидальных колебаний частотой 6000 Гц. Имеются две вторичные обмотки. Подвижный якорь набран из пластин трансформаторного железа. Собственная частота измерительного осциллятора составляет 400 Гц. Амплитудная характеристика датчика является прямолинейной до частоты 200 Гц. Включение обмоток датчика осуществляется по мостовой схеме (см. рисунок 2.4, б).



1 – якорь; 2, 4 – сердечники; 3 – катушка; 5 – крышка верхняя; 6 – ленточная пружина; 7 – основание датчика; 8 – крышка нижняя

Рисунок 2.4 – Конструкция и схема включения датчика ускорения

Индуктивный датчик перемещения включают в измерительную цепь либо по мостовой схеме (рисунок 2.5, а), либо по полумостовой (рисунок 2.5, б).

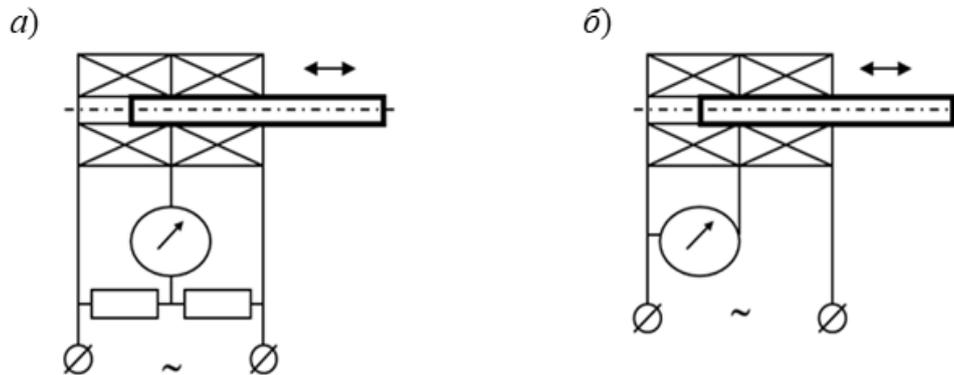


Рисунок 2.5 – Схемы включения индуктивных датчиков перемещения в измерительную цепь

К преимуществам индуктивных датчиков относят большую выходную мощность (до 5 В·А), что позволяет обходиться без усилителей, простоту и прочность, высокую чувствительность.

Особенностями рассматриваемых датчиков являются необходимость использования измерительной цепи с переменным током высокой частоты и влияние колебания частоты питающего напряжения на точность работы. Индуктивные датчики используются на частотах до 3000...6000 Гц, т. к. на высоких частотах растут потери в стали на перемагничивание и вихревые токи и максимальная частота измеряемой вибрации должна быть значительно меньше несущей частоты. Снизу частотный диапазон не ограничивается. Индуктивные датчики позволяют выполнять измерения от нуля герц, т. е. измерять динамические процессы с постоянной составляющей. Снизу частотный диапазон не ограничивается. Индуктивные датчики позволяют выполнять измерения от нуля герц, т. е. измерять динамические процессы с постоянной составляющей, и применяются как акселерометры на низких и средних частотах.

## 2.2 Порядок выполнения работы

- 1 Подключить датчик перемещения в измерительную схему.
- 2 Перемещая сердечник, регистрировать значения перемещения  $x$  и тока  $I$ . Произвести измерения при каждом перемещении не менее трех раз. Полученные данные занести в таблицу.
- 3 Построить характеристику  $I = f(x)$ .
- 4 Подключить датчик ускорения в измерительную цепь.
- 5 Перемещая датчик, регистрировать значения ускорения  $a$  и тока  $I$ . Произвести измерения при каждом значении ускорения не менее трех раз. Полученные данные занести в таблицу.
- 6 Построить характеристику  $I = f(a)$ .
- 7 Оценить погрешность измерений.

### **2.3 Содержание отчета**

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Краткое описание принципа действия, конструкций и схем включения исследуемых в работе датчиков.
- 4 Таблица с результатами измерений и графики характеристик датчиков.
- 5 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Принцип работы емкостных датчиков.
- 2 Устройство емкостных датчиков, используемых для измерения линейных и угловых перемещений.
- 3 Какие физические величины можно измерять при помощи емкостных датчиков?
- 4 Преимущества и недостатки емкостных датчиков.
- 5 Объясните устройство и принцип работы потенциометрических датчиков.
- 6 Как влияет нагрузка на статическую характеристику потенциометрического датчика?
- 7 Объясните устройство и принцип работы оптических и ультразвуковых датчиков перемещения.
- 8 Объясните устройство и принцип работы индуктивных датчиков перемещения.
- 9 Объясните устройство и принцип работы датчика ускорения.
- 10 Какие характеристики имеют исследованные датчики?

## **3 Лабораторная работа № 3. Тензодатчики, определение деформаций**

**Цель работы:** изучить типы, устройство и принцип работы тензометрических датчиков для определения деформаций; получить навыки их применения.

### **3.1 Общие сведения**

Механическая деформация – это изменение взаимного расположения частиц среды, которое приводит к изменению её формы и размеров и изменяет силы взаимодействия между частицами, что влечёт появление напряжений.

Датчик деформации – это устройство, предназначенное для определения искажения формы и размеров контролируемого объекта посредством преобразования этих изменений в выходной сигнал, удобный для фиксации и обработки.

По способу преобразования датчики деформаций наиболее часто подразделяют на следующие виды:

- тензорезистивные;
- пьезоэлектрические;
- магнитоупругие.

Тензорезистор – это первичный преобразователь (датчик), предназначенный для измерения деформаций. Относится к группе параметрических преобразователей неэлектрических величин в электрические. Входной величиной тензорезисторов является деформация поверхностного слоя детали, а выходной – изменение сопротивления, пропорциональное этой деформации.

Принцип действия тензопреобразователей основан на явлении тензоэффекта, заключающегося в изменении омического сопротивления проводника за счет изменения его геометрических размеров (длины и площади поперечного сечения) и физических свойств (удельного сопротивления материала проводника) при деформации.

Электрическое сопротивление проводника определяется по формуле

$$R = \frac{\rho l}{A}, \quad (3.1)$$

где  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление проводника, Ом·м;

$l$  – длина проводника, м;

$A$  – площадь поперечного сечения проводника, м<sup>2</sup>.

Чувствительность тензорезистора оценивают коэффициентом тензочувствительности  $k$ , который определяется при линейном нагружении датчика следующим образом:

$$k = \frac{\Delta R/R}{\Delta l/l}, \quad (3.2)$$

где  $R$  – сопротивление недеформированного тензорезистора, Ом;

$\Delta R$  – изменение сопротивления в результате деформации, Ом.

$l$  – длина базы недеформированного тензорезистора, мм;

$\Delta l$  – изменение базы в результате деформации, мм.

Коэффициент тензочувствительности – это отношение относительного изменения сопротивления проводника к его относительному удлинению.

Коэффициент тензочувствительности существенно зависит от материала проводника. Для металлических тензорезисторов он положительный и составляет для сплавов на основе константана: проволочные тензорезисторы – 2...6; фольговые – 2...3.

Связь между напряжением в детали и изменением сопротивления тензорезистора для упругодеформируемых металлических деталей описывается выражением

$$\sigma = \frac{\Delta R \cdot E}{R \cdot k}, \quad (3.3)$$

где  $E$  – модуль упругости первого рода материала детали, Н/м<sup>2</sup>.

Тензорезисторы можно условно классифицировать по следующим признакам:

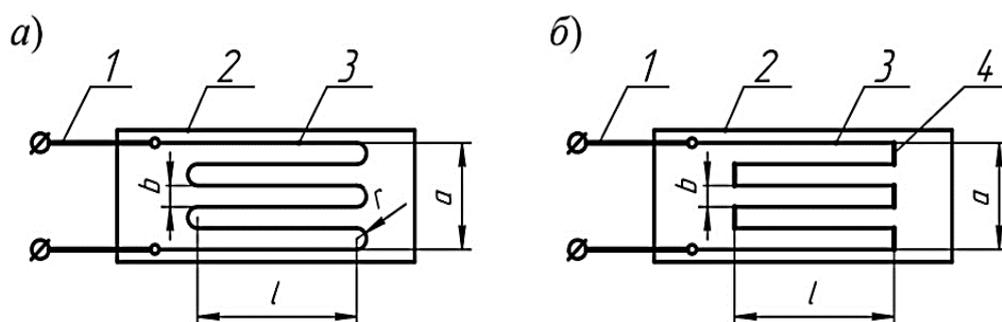
- по конструкции: проволочные (петлевые и беспетлевые), фольговые и полупроводниковые;
- по типу основы: с бумажной, пленочной и без основы;
- по типу решеток: с поперечной и без поперечной чувствительности;
- по назначению: для статических и статико-динамических испытаний, для кратковременных и длительных испытаний;
- по влагостойкости: влагостойкие и не влагостойкие.

Основой для размещения тензочувствительных элементов выступает бумага, полимерная пленка или их комбинация.

Тензорезисторы изготавливают из материалов с высоким удельным сопротивлением: сплавов меди и никеля (константан), полупроводниковых материалов, сплавов на основе хрома, никеля и молибдена для измерений при температуре свыше 250 °С, сплавов на основе висмута.

Крепление тензорезисторов осуществляют непосредственно на испытываемой детали с помощью клеев БФ-2, эпоксидного Д-86, лаков ВЛ-7 или ВЛ-9, термоцемента Б-56 и др.

Конструкция проволочного тензорезистора представлена на рисунке 3.1.



$a$  – петлевой проволочный тензодатчик;  $b$  – проволочный тензодатчик с медными перемычками;  $l$  – соединительные выводы; 2 – подложка (основа); 3 – тензочувствительный элемент; 4 – перемычки

Рисунок 3.1 – Схемы проволочных тензорезисторов для измерения линейных деформаций

Датчик состоит из подложки 2 (бумага или полиэфирная пленка), на которой при помощи связующего (клея) укреплен чувствительный элемент 3, изготовленный чаще всего из константана, к которой присоединены выводные

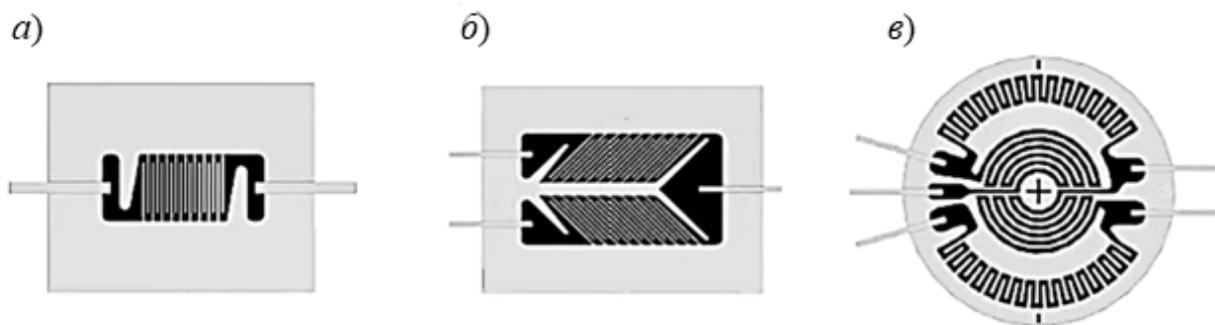
проводники  $l$ . Поверх проволоки наклеивается такая же бумага или пленка, как на подложке.

Проволочный петлевой тензорезистор, изображенный на рисунке 3.1, *а*, представляет собой несколько петель проволоки диаметром  $d = 0,010 \dots 0,030$  мм с активным сопротивлением  $50 \dots 500$  Ом. Номинальный ток  $I_{ном} = 30$  мА. Максимальная деформация – до  $0,3\%$ .

Недостатком данной конструкции решетки является чувствительность преобразователя к поперечным деформациям. Для устранения этого недостатка петли между рядами заменяют медными перемычками  $4$  (см. рисунок 3.1, *б*).

Основными параметрами решетки являются: длина  $l$  ( $3 \dots 75$  мм); ширина  $a$  ( $0,03 \dots 10$  мм); шаг витков  $b$ ; радиус закругления  $r$  ( $0,1 \dots 0,3$  мм). Длина петли  $l$  называется базой тензорезистора.

Фольговые тензорезисторы (рисунок 3.2) изготавливаются из металлической ленты толщиной  $4 \dots 12$  мкм, рекомендованный размер базы –  $3 \dots 30$  мм, номинальное сопротивление –  $30 \dots 500$  Ом. Основные конструкции таких первичных преобразователей представлены на рисунке 3.2.



*а* – для измерения линейных деформаций; *б* – мембранный для измерения давления; *в* – для измерения крутящего момента

Рисунок 3.2 – Типы фольговых тензорезисторов

Благодаря большей площади контакта полосок фольги с деталью теплоотдача фольгового тензорезистора значительно лучше проволочного. Это позволяет увеличить номинальный ток до  $0,5$  А и тем самым повысить чувствительность измерительной схемы.

Другим преимуществом фольговых тензорезисторов является возможность изготовления решеток сложного профиля, которые в лучшей степени удовлетворяют условиям измерений. Например, прямоугольные решетки лучше всего подходят для измерений растяжения-сжатия, розеточные – для измерения крутящих моментов, а мембранные – для давлений.

Обозначения проволочных тензорезисторов 2ПКП-5-50Г или 2ПКБ-20-200Х. Первая буква (П) указывает, что решетка выполнена из проволоки; вторая (К) – материал проволоки (константан); третья (Б или П) – материал

основы (бумага или пленка). Первое число после букв показывает базу тензорезистора ( $l$ ) в миллиметрах; второе – номинальное сопротивление (Ом); буква в конце (Г или Х) обозначает температуру наклейки тензорезистора на деталь (Х – до 30 °С, Г – до 180 °С).

Обозначения фольговых тензорезисторов 2ФКПА-10-100Х, 2ФКРБ-5-50Г, 2ФКМВ-30-200Г. Первая буква (Ф) – тип тензорезистора (фольговый); вторая – материал: К – константан; третья – тип решетки (П – прямоугольный, Р – розеточный, М – мембранный, С – специальный); четвертая – подгруппа (А, Б, В, Г, Д). Остальные символы обозначают то же, что и в проволочных. Только в мембранных вместо базовой длины указан диаметр.

Полупроводниковые тензорезисторы дискретного типа представляют собой тонкие полоски из кремния или германия. Толщина – 20...50 мкм, длина – 2...12 мм, ширина – 0,15...0,5 мм. Изменение сопротивления полупроводникового элемента при деформации в 10 раз больше, чем проводникового. Выше и величина выходного сигнала. Изготавливаются обычно путем резки монокристалла с последующим травлением для того, чтобы на поверхности не осталось микротрещин от обработки.

Поликристаллические не используют из-за большого гистерезиса и временной нестабильности их характеристик.

Интегральные полупроводниковые тензорезисторы изготавливают по планарной технологии – выращивают непосредственно на упругом элементе, выполненном из кремния или сапфира. Выращивают структуры в виде полумоста или моста и термокомпенсирующие элементы.

Коэффициент тензочувствительности полупроводникового тензорезистора зависит от концентрации добавок и составляет  $120 \pm 20$ ; номинальный ток – 15 мА; диапазон рабочих температур составляет от минус 160 °С до плюс 300 °С; длина (база) – около 2 мм; толщина – 0,45 мм.

Одним из параметров, определяющих тензочувствительность, является расстояние между витками проволоки  $b$ . Расстояние между витками существенно влияет на поперечную тензочувствительность датчика, т. е. под действием нагрузки, перпендикулярной к оси датчика. Для проволочных тензорезисторов отношение поперечной тензочувствительности к продольной определяется отношением  $b/l$  и составляет около 0,02...0,05, а для фольговых – 0,01...0,02.

Для уменьшения влияния поперечных деформаций, воспринимаемых участками решетки в местах поворота проводника и искажающих характеристику преобразования, сечение проводника на этих участках фольговых тензорезисторов увеличено. Влияние поперечных деформаций уменьшается также при увеличении базы преобразователя.

Измерительная база тензорезистора (длина решетки) при его наклейке должна совпадать с направлением интересующих деформаций.

Основным источником погрешности тензопреобразователей является температурная зависимость сопротивления тензоматериала. Изменение

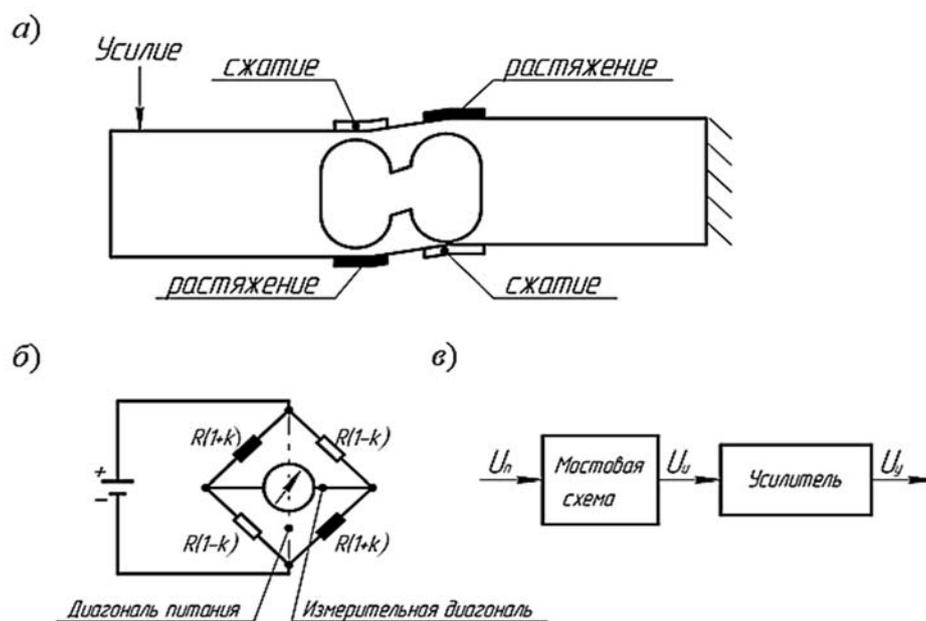
сопротивления, обусловленное изменением температуры проводника, сравнимо с его изменением за счет измеряемой деформации и добавляется к результату преобразования.

Кроме того, наклеиваемые тензорезисторы вследствие разного температурного коэффициента расширения детали и тензоматериала испытывают дополнительные деформации растяжения или сжатия при отсутствии внешней нагрузки.

Для уменьшения температурной погрешности в соседнее плечо моста включается компенсирующий, подстроечный резистор с переменным сопротивлением или такой же преобразователь, наклеенный на тот же самый материал и помещенный в те же температурные условия, что и рабочий преобразователь – компенсирующий тензорезистор.

В первом случае переменным резистором добиваются баланса схемы в данных условиях измерений, во втором – тензорезисторы испытывают равные деформации противоположного знака (дифференциальное включение), при этом наряду с температурной коррекцией вдвое повышается чувствительность мостовой схемы.

Производятся датчики, в которых тензорезисторы размещены на серьге, балочке и т. п. В свою очередь данная промежуточная деталь крепится с помощью резьбовых соединений к элементам испытываемой машины или элементам измерительных устройств: весов, динамометров. Один из вариантов размещения тензорезисторов представлен на рисунке 3.3, а.



а – расположение тензорезисторов на промежуточной детали; б – включение по схеме полного моста; в – схема измерительной цепи

Рисунок 3.3 – Схема включения тензометрических преобразователей

Датчики объединяют в тензорезистивный мост, изображенный на рисунке 3.3, б. Это позволяет точно отследить изменение сопротивления

тензорезисторов и преобразовать это изменение в электрический сигнал (рисунок 3.3, в). Тензорезисторы в мосте располагаются так, что при действии силы два резистора увеличивают свое сопротивление, а два других уменьшают.

На диагональ питания моста подается опорное напряжение  $U_n$ . Когда на датчики не действует сила, их сопротивление равняется начальному  $R$  и мост уравновешен. На измерительной диагонали моста напряжение  $U_u$  равно нулю. Если на датчики действует сила, то их сопротивление меняется на некоторую величину и становится равным  $R \cdot (1 \pm k)$  в зависимости от направления деформации. В этом случае в измерительной диагонали моста возникает напряжение

$$U_u = k \cdot U_n. \quad (3.4)$$

### **3.2 Порядок выполнения работы**

- 1 Определить параметры решетки представленных тензодатчиков.
- 2 Подключить тензометрические датчики в измерительную схему.
- 3 Произвести деформацию пластинки с тензодатчиком, регистрируя связь выходного сигнала датчика с деформацией. Произвести измерения при каждом значении деформации не менее трех раз. Результаты занести в таблицу.
- 4 Построить графическую зависимость сопротивления тензодатчика от деформации  $R = f(x)$  и напряжения на измерительной диагонали от деформации  $U_u = f(x)$ .
- 5 Оценить погрешность измерений.

### **3.3 Содержание отчета**

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Краткое описание принципа действия, конструкций и схем включения исследуемых в работе датчиков.
- 4 Таблица с результатами измерений и графики характеристик датчиков.
- 5 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

- 1 В чем заключается явление тензоэффекта?
- 2 Что такое коэффициент тензочувствительности?
- 3 Что является входной и выходной величиной тензорезистора?
- 4 Для измерения каких величин используют тензопреобразователи?
- 5 К какому типу датчиков относят тензорезисторы?
- 6 Какие параметры влияют на чувствительность тензорезистора?
- 7 Какие типы тензодатчиков применяют?
- 8 Как тензодатчики включают в измерительную схему?
- 9 Как тензодатчики крепят к деталям?

## 4 Лабораторная работа № 4. Ультразвуковые датчики, определение толщины

**Цель работы:** изучить типы и принцип работы ультразвуковых датчиков; получить навыки их применения при определении толщины деталей.

### 4.1 Общие сведения

Упругие механические колебания, распространяющиеся в воздухе, воспринимают обычно как звуки. Это акустические колебания. Если их частота более 20000 Гц (20 кГц), т. е. выше порога слышимости для человеческого уха, то такие колебания называют ультразвуковыми (УЗК). В дефектоскопии наиболее часто используют диапазон частот 0,5...10 МГц (1 МГц =  $10^6$  Гц).

Для генерации ультразвука используют в основном два явления. Обратный пьезоэлектрический эффект – это возникновение деформации вырезанной определенной формой кварцевой пластинки под действием электрического поля. Если такую пластинку поместить в высокочастотное переменное поле, то можно вызвать ее вынужденные колебания. При резонансе на собственной частоте пластинки получают большие амплитуды колебаний и большие интенсивности излучаемой ультразвуковой волны.

Магнитострикция – это возникновение деформации в ферромагнетиках под действием магнитного поля. Поместив ферромагнитный стержень в быстропеременное магнитное поле, возбуждают его механические колебания, амплитуда которых максимальна в случае резонанса.

Существует два типа ультразвуковых датчиков (преобразователей), которые можно использовать в качестве ультразвукового толщиномера. Это пьезоэлектрические и магнитоупругие датчики. Оба типа преобразователей при возбуждении излучают звуковые волны в материал. Как правило, эти преобразователи используют заданную частоту, однако некоторые толщиномеры позволяют настраивать частоту для проверки более широкого спектра материалов. Стандартная частота ультразвукового толщиномера составляет 5 МГц.

Ультразвуковые волны формируются в датчике при помощи электроакустического преобразователя (пьезоэлектрический эффект), который преобразует подводимую электрическую энергию в механические колебания (рисунок 4.1).

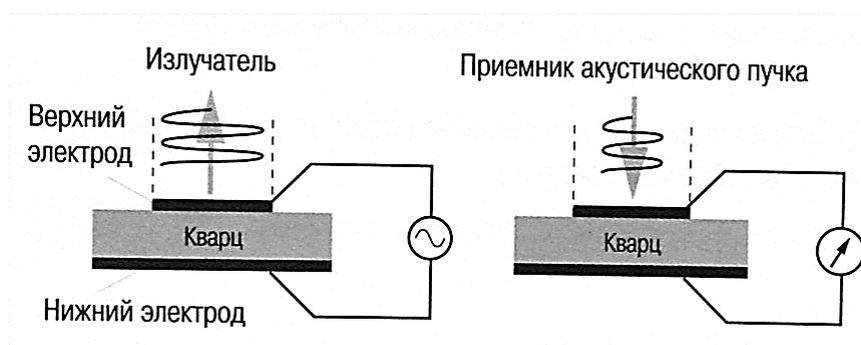


Рисунок 4.1 – Схема ультразвукового преобразователя

Ультразвуковая толщинометрия основана на свойстве ультразвуковых волн направленно распространяться в средах на большие расстояния и отражаться от границ сред, обладающих другим акустическим сопротивлением, на границе двух участков различной плотности (рисунок 4.2).

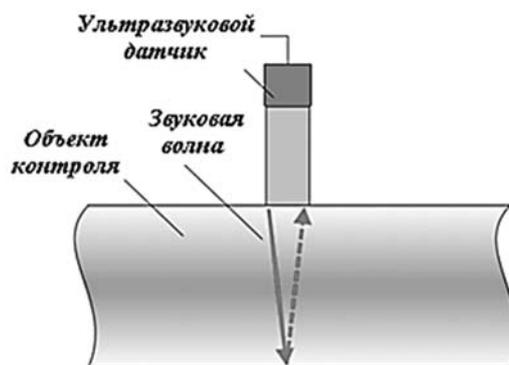


Рисунок 4.2 – Схема ультразвукового распространения ультразвукового сигнала

При определении толщины изделия ультразвуковой импульс, испускаемый датчиком, проходит через анализируемый объект и отражается от его обратной поверхности. После преобразования отраженного эхосигнала указанным датчиком в высокочастотный электрический импульс он анализируется измерительным прибором – толщиномером для определения и индикации измеренной толщины. Погрешность данного метода контроля составляет не более  $\pm 3\%$ .

Ультразвуковой толщиномер – измерительный прибор, позволяющий с высокой точностью измерить толщину основного слоя материала без нарушения его целостности. Современные ультразвуковые толщиномеры могут проводить измерения при одностороннем доступе к объекту, а также через слой защитного покрытия.

Толщиномер ультразвуковой УТ-93П предназначен для измерения толщины изделий из конструкционных металлических сплавов при одностороннем доступе к ним.

В толщиномере используется контактный способ – обеспечение акустического контакта путем прижатия контактной поверхности преобразователя к поверхности контролируемого объекта без сканирования поверхности объекта.

Предельные значения параметров контролируемых объектов, ограничивающие область применения толщиномера, при их раздельном воздействии:

- максимально допустимое значение параметра шероховатости поверхности со стороны ввода УЗК – Rz160;

- максимально допустимый радиус кривизны поверхности полого цилиндра при вводе УЗК со стороны выпуклой поверхности – 3 мм;

- максимальная непараллельность поверхностей на участке измерения базовой длиной 20 мм – 3 мм;

- температура поверхности контролируемых объектов – от минус 10 °С до плюс 50 °С.

Ультразвуковую толщинометрию применяют для оценки степени коррозионного износа образцов.

Под степенью коррозионного износа  $C_K$  понимают уменьшение площади поперечного сечения элемента металлоконструкции по отношению к номинальной (начальной) величине площади сечения, т. е.

$$C_K = \frac{A_H - A_K}{A_H} \cdot 100 \%, \quad (4.1)$$

где  $A_H$  – номинальная (начальная) площадь сечения элемента металлоконструкции, мм;

$A_K$  – оставшаяся площадь сечения элемента металлоконструкции после поражения коррозией, мм.

## 4.2 Порядок выполнения работы

1 Подсоединить к разъемам толщиномера «(→» и «←)» с помощью соединительных кабелей преобразователь на требуемый диапазон толщин согласно таблице 4.1.

Таблица 4.1 – Типы и параметры ультразвуковых преобразователей

Условное обозначение преобразователя	Диапазон измерения, мм	Показание цифрового индикатора
П112-10-6/2-А-002	0,5...10	6240
П112-10-4x4-Б-003	0,6...30	6080
П112-5-4x4-А-003	2...20	6240
П112-5-4x4-Б-003	0,8...200	6240
П112-2,5-12/2-Б-002	2...1000	6080

2 При подключении преобразователей разъем «(→» толщиномера должен подключаться к ответвлению с отличительной белой биркой соединительного кабеля. Ручку регулятора «▷◻◀» повернуть до упора по часовой стрелке, а ось резистора «▷» – до упора против часовой стрелки.

3 Провести проверку общей работоспособности толщиномера и стыковку реверберационно-шумовой характеристики преобразователя с чувствительностью приемника толщиномера. Для этого:

– нажать на кнопку «С» и при нажатой кнопке установить регулировкой , в зависимости от типа преобразователя, показание цифрового индикатора согласно таблице 4.1;

– отпустить кнопку «С», нанести на поверхность юстировочной плитки с маркировкой «3,0», вмонтированной в корпус, слой контактной смазки, которая будет использоваться при контроле;

– установить преобразователь на вмонтированную в корпус толщиномера юстировочную плитку и, вращая ручку «▷ □ ◁», добиться показания цифрового индикатора 3,0 мм;

– установить преобразователь на плитку толщиной 10 мм и убедиться, что показания цифрового индикатора находятся в пределах 9,9...10,1 мм.

4 Провести предварительную подготовку поверхности контролируемого изделия в местах установки преобразователя. Для этого очистить контактируемую поверхность изделия с преобразователем от отслаивающейся окалины, защитник покрытий, наплавов металла и других грубых микронеровностей поверхности.

5 Нанести слой контактной смазки на поверхность контролируемого изделия в местах установки преобразователя в зависимости от температуры поверхности согласно таблице 4.2.

Таблица 4.2 – Типы контактных смазок для ультразвуковой толщинометрии

Обозначение, ГОСТ контактных смазок	Температура контролируемой поверхности, °С
ЦИАТИМ-201-ГОСТ 6267–74	–10...+50
ЦИАТИМ-208-ГОСТ 16422–79	0...+50
ЦИАТИМ-221-ГОСТ 9433–80	–5...+50
Глицерин ГОСТ 6823–77	0...50
Масло трансформаторное ГОСТ 982–80	–10...+50
Масло веретенное ГОСТ 1642–75	–10...+50

6 Установить преобразователь на поверхность изделия, хорошо притерев и прижав контактные поверхности, добиться засветки точки на индикаторе справа после значащих цифр и устойчивых минимально возможных показаний цифрового индикатора, записать показания.

7 Произвести измерения в каждой точке не менее трех раз, оценить погрешность измерений.

### **4.3 Содержание отчета**

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Краткое описание принципа действия, конструкций и схем включения исследуемых в работе датчиков.

4 Таблица с результатами измерений и расчет уменьшения толщины измеренных металлоконструкций.

5 Выводы.

### **Контрольные вопросы**

1 Какие типы ультразвуковых преобразователей применяют?

2 На чем основан принцип ультразвуковой толщинометрии?

3 Как обеспечивается надежный контакт ультразвукового преобразователя и поверхности изделия?

4 Как подготовить толщиномер к измерениям?

5 Как обеспечивают акустический контакт при измерениях?

6 Как производят измерение толщины?

7 Чем обусловлен выбор типа ультразвукового преобразователя?

## 5 Лабораторная работа № 5. Датчики для определения угловой скорости

**Цель работы:** изучить типы, устройство и принцип работы датчиков для определения угловой скорости; получить навыки их применения.

### 5.1 Общие сведения

В средствах автоматизации, робототехнике, в электромеханических системах управления широко используются датчики линейной скорости, угловой скорости вращения и угла поворота вала.

Применяют индукционные датчики – тахогенераторы, датчики Холла, энкодеры, оптические датчики и др.

Энкодеры делятся на инкрементальные и абсолютные. Инкрементальный энкодер на выходе выдает за один оборот определенное количество импульсов, а абсолютный энкодер – цифровую информацию о текущем угле поворота.

По принципу действия энкодеры могут быть оптическими, резисторными и магнитными. Выход энкодера обычно имеет два канала, в которых идентичные последовательности импульсов сдвинуты на  $90^\circ$  относительно друг друга, что позволяет определять направление вращения (рисунок 5.1, а). Зачастую имеется и дополнительный (третий) импульсный выход для формирования нулевой метки. Этот сигнал позволяет определить абсолютное начальное положение вала.

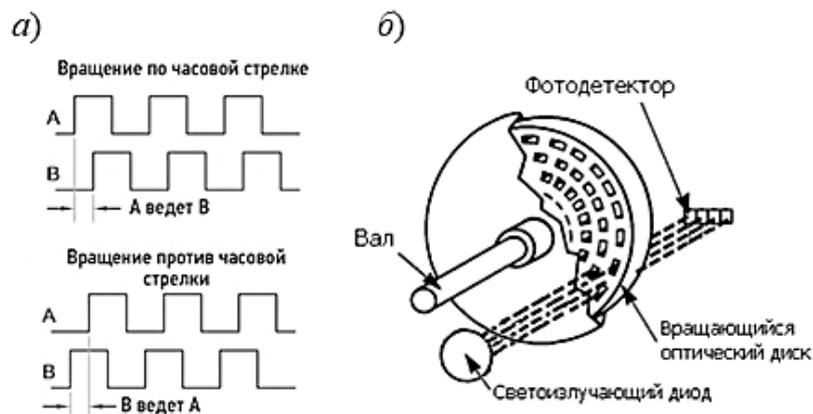


Рисунок 5.1 – Форма сигнала (а) и конструкция (б) оптического энкодера

Инкрементальный оптический энкодер (рисунок 5.1, б) состоит из источника света, кодового оптического диска, маски, фотодетекторной сборки и сигнального процессора. Внутри энкодера жестко с валом закреплен стеклянный кодовый диск с равномерно нанесенными непрозрачными рисками. Источник света и фотодетекторы расположены по разные стороны от диска. Количество света, приходящего на фотодетекторы, меняется в зависимости от положения рисок. Электронная схема преобразует сигналы от фотодетекторов в импульсные выходные сигналы.

Количество отверстий на оптическом диске определяет количество выходных импульсов за оборот вала энкодера. В результате, подсчитывая количество импульсов, сформировавшихся на выходе энкодера, легко определить угол поворота вала. Количество импульсов за один оборот для конкретного энкодера есть величина постоянная. К примеру, если на диске нанесено 1000 рисок, а на выходе энкодера появилось 250 импульсов, то вал повернулся на 90 град. Если вал останавливается, то прекращается и передача импульсов.

Сигналы (импульсы) от энкодера могут направляться в регистрирующий прибор или ЭВМ. В этом случае осуществляется программное суммирование количества импульсов за определенный интервал времени. Число отверстий индуктора датчика выбирают так, чтобы импульсы следовали через возможно меньший промежуток времени. Тогда погрешность измерений будет минимизироваться. Программно анализируя информацию о количестве импульсов, можно получить сразу три характеристики (вместо установки трех датчиков) – путь, скорость и ускорение. Точность измерений при этом составляет для пути – несколько миллиметров, а для скорости – в диапазоне от 1,5 до 400 км/ч  $\pm 0,2\%$ .

Индукционный датчик для измерения угловой скорости называют тахогенератором. Выходной величиной индукционного датчика является ЭДС, а входной – скорость изменения магнитного потока. Индукционные датчики относятся к генераторным и чаще всего используются для измерения скоростей – линейной или угловой. Индукционные датчики включают в измерительную цепь, как правило, последовательно.

Тахогенераторы могут быть постоянного и переменного тока, синхронные и асинхронные.

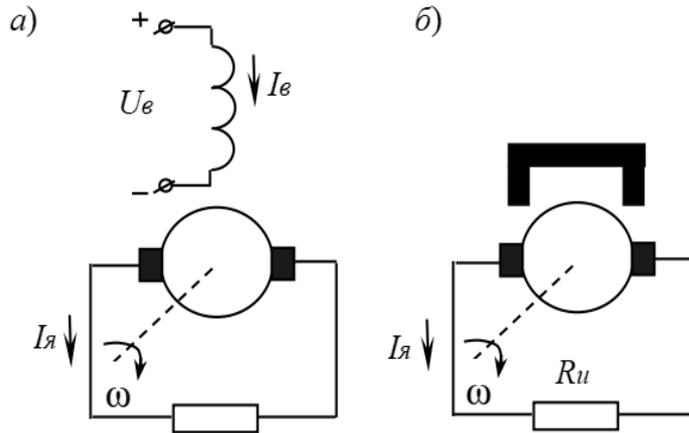
Тахогенератор постоянного тока – это машина постоянного тока с независимым электромагнитным возбуждением или возбуждением постоянными магнитами (рисунок 5.2), работающая в генераторном режиме. Тахогенераторы используются в качестве датчиков скорости в различных измерительных устройствах и системах автоматического управления.

Тахогенераторы должны удовлетворять следующим требованиям:

- 1) линейность и крутизна статической характеристики;
- 2) остаточное напряжение при нулевой скорости вращения у тахогенераторов переменного тока и зона нечувствительности у тахогенераторов постоянного тока должны быть сведены к минимуму;

3) быть минимальный уровень пульсаций выходного напряжения у тахогенераторов постоянного тока и синусоидальность выходного напряжения с минимальной фазовой погрешностью у тахогенераторов переменного тока;

4) небольшие габариты и масса, при которых бы обеспечивались малые значения момента инерции ротора и момента трения.



*a* – с электромагнитным независимым возбуждением; *б* – с магнитоэлектрическим возбуждением от постоянного магнита

Рисунок 5.2 – Схемы тахогенераторов

Тахогенераторы с магнитоэлектрическим возбуждением получили наибольшее распространение из-за преимуществ, которые дает отсутствие обмотки возбуждения:

- простота конструкции;
- меньшие габариты;
- нет необходимости в стабилизированном источнике питания обмотки возбуждения, постоянство магнитного потока обеспечивается автоматически;
- нет необходимости учитывать непостоянство сопротивления цепи возбуждения при изменении температуры обмотки.

Для оценки угловой скорости также применяют тахометры (рисунок 5.3), которые состоят из датчика (тахогенератора) и указателя (тахоуказателя).

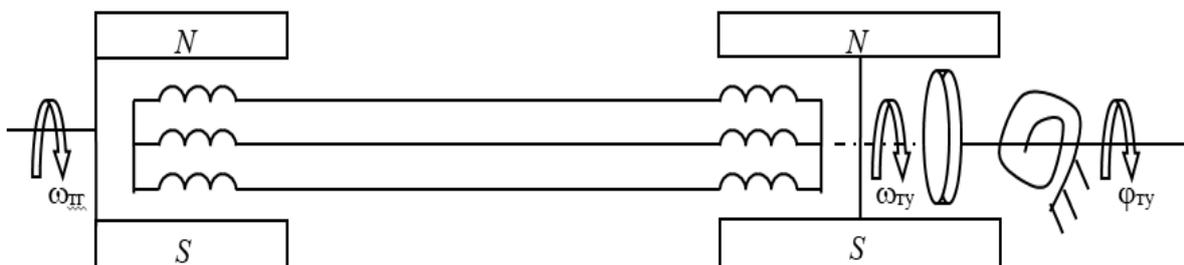


Рисунок 5.3 – Схема системы «тахогенератор – тахоуказатель»

Тахогенератором является трехфазный синхронный генератор с ротором в виде звездообразного магнита. Тахоуказатель представляет собой также трехфазный реактивный синхронный электродвигатель. Валом этого двигателя является звездочка-магнит, которая создает вращающееся магнитное поле, увлекающее за собой диск, закручивающий пружину и поворачивающий стрелку указателя.

По характеру изменения выходного напряжения при изменении угловой скорости вращения якоря судят о динамических свойствах тахогенератора. Передаточная функция при измерении скорости вращения будет иметь вид

$$K_{m\omega} = \frac{U_{вых}}{\omega}. \quad (5.1)$$

## 5.2 Порядок выполнения работы

- 1 Подключить датчик угловой скорости в измерительную цепь.
- 2 Вращая вал ротора датчика, увеличивать угловую скорость и регистрировать значения напряжения  $U_{вых}$  в 5–10 точках.
- 3 Построить характеристику  $U_{вых} = f(\omega)$ , используя линейную аппроксимацию.
- 4 Определить коэффициент передачи тахогенератора на холостом ходу.
- 5 Оценить погрешность полученного значения.

## 5.3 Содержание отчета

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Краткое описание принципа действия, конструкций и схем включения исследуемых в работе датчиков.
- 4 Измерительная схема, характеристики используемых измерительных средств.
- 5 Результаты измерений и их обработка, графические зависимости характеристик.
- 6 Выводы.

## Контрольные вопросы

- 1 Какие типы датчиков применяют для измерения угловой скорости?
- 2 Какие параметры можно определить по сигналу датчиков скорости?
- 3 Какие типы датчиков скорости известны?
- 4 Каков принцип действия оптических энкодеров?
- 5 Какие типы тахогенераторов применяют?
- 6 Какие требования предъявляют к тахогенераторам?
- 7 К какому типу датчиков относят тахогенераторы?

## 6 Лабораторная работа № 6. Осциллографы

**Цель работы:** изучить типы, устройство и принцип работы осциллографов.

### 6.1 Общие сведения

При регистрации неустановившихся процессов информация датчиков фиксируется в одном из следующих устройств:

- 1) осциллограф;
- 2) магнитограф;
- 3) самописец;
- 4) ЭВМ с помощью специальных согласующих устройств – электронных плат сбора данных или, как их чаще называют, аналогово-цифровых преобразователей (АЦП).

В основе работы осциллографа лежит преобразование исследуемых электрических сигналов в видимое изображение.

Развернутое во времени изображение исследуемого динамического процесса называется осциллограммой.

Применяют следующие типы осциллографов:

- аналоговые:
  - а) светолучевые;
  - б) электронно-лучевые;
- цифровые.

В электронно-лучевых осциллографах электрические сигналы относительно небольшой частоты (до 1 кГц) преобразуются в перемещение светового луча, который попадает на светочувствительную ленту.

Осциллограф Н-117 представляет собой универсальный регистрирующий прибор магнитоэлектрической системы с оптической записью на фотоленте до двенадцати измеряемых величин.

Светолучевой осциллограф состоит из следующих узлов:

- 1) лентопротяжного механизма с кассетой для фотобумаги;
- 2) источника света – кварцевой ртутной лампы;
- 3) оптической системы с отметчиком времени;
- 4) магнитного блока с комплектом гальванометров;
- 5) пульта управления;
- 6) комплекта соединительных кабелей с клеммными колодками.

Осциллограф имеет 12 скоростей движения фотоленты (от 0,5 до 10000 мм/с). Основная погрешность регистрации составляет 1,5 % при времени прогрева не менее 10 мин. Электропитание осуществляется от источника переменного тока 220 В, 50 Гц. Потребляемый осциллографом ток составляет 4,5 А.

Принцип действия светолучевого осциллографа (рисунок 6.1) состоит в следующем. Свет от лампы проходит сначала через собирающую линзу и диафрагму, затем попадает на зеркальце гальванометра. Отразившись от него и

пройдя через последующие элементы оптической системы, попадает на светочувствительную равномерно движущуюся с заданной скоростью бумагу. На эту же бумагу через определенные интервалы попадают отблески отметчика времени.

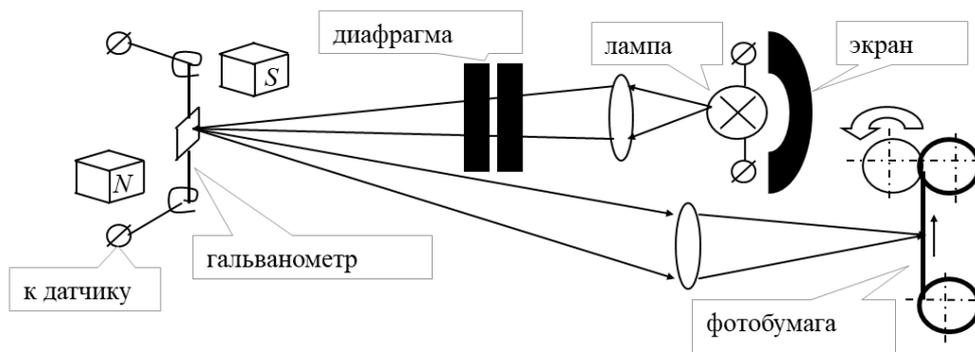


Рисунок 6.1 – Схема светолучевого осциллографа

В качестве фотофиксирующей ленты применяют либо фотобумагу различной чувствительности, либо специальную бумагу, чувствительную к ультрафиолетовым лучам (УФ). В последнем случае в качестве источника света применяется специальная кварцевая ртутная лампа с высоковольтной схемой питания.

Наиболее важным элементом светолучевого осциллографа является гальванометр. Он в наибольшей степени определяет качество осциллограммы.

Состоит гальванометр из немагнитного корпуса, внутри которого на токопроводящей нити закреплено зеркальце. Нить гальванометра подключается к датчику или усилителю. Гальванометры устанавливаются в гнездах магнитного блока. Магнитное поле, в котором работают гальванометры, создается массивным постоянным магнитом.

При прохождении электрического тока по нити, находящейся в магнитном поле, зеркальце поворачивается согласно закону электромагнитной индукции. Угол поворота пропорционален силе тока. Внутренняя полость гальванометра заполнена демпфирующей жидкостью.

Подбор гальванометров необходимо производить в зависимости от требуемой чувствительности, т. е. амплитуды электрического сигнала (максимальной величины протекающего через него тока), и от частоты регистрируемого процесса. Во избежание порчи гальванометра категорически запрещается превышать максимально допустимую величину тока.

При отсутствии гальванометра для стабильной работы остальных в пустые отверстия магнитного блока необходимо устанавливать специальные магнитные вкладыши (имитаторы гальванометров).

Магнитоэлектрические гальванометры характеризуются следующими параметрами:

– чувствительностью по току  $S = \Delta h / \Delta I$ , где  $\Delta h$  – отклонение светового луча на фотобумаге;  $\Delta I$  – величина электрического тока, вызвавшего это отклонение (для существующих гальванометров  $S = 1 \dots 1000$  мм/мА при расстоянии от гальванометра до фотоленты 1 м);

- частотой собственных колебаний  $f_0 = 20 \dots 7000$  Гц;
- рабочей частотой пропускаемых частот (частотный диапазон) – это такой диапазон частот, при котором чувствительность гальванометра отличается не более 5 % от чувствительности на нулевой частоте;
- добротностью  $A = S f_0^2$ .

Выбирают гальванометр такой, чтобы верхняя граница его частотного диапазона была в 10 раз больше частоты главной гармоники регистрируемого процесса. В этом случае амплитудная погрешность будет не более 1 %.

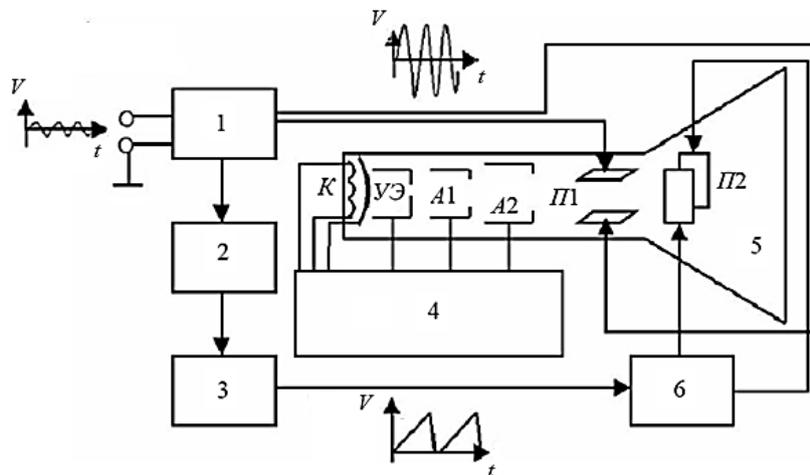
Чувствительность гальванометра должна быть такой, чтобы обеспечить при максимальном сигнале от датчика желаемую амплитуду луча на ленте (обычно 50 мм).

При этом необходимо учитывать максимально допустимый ток гальванометра. Превышение максимального тока приводит к выходу гальванометра из строя.

С целью учета времени в осциллографе через определенные интервалы времени (в зависимости от заданной скорости) генерируются световые импульсы, отображаемые на фотоленте в виде вертикальных отметок времени.

Электронный осциллограф (ЭО) – прибор, предназначенный для визуального наблюдения осциллограмм, имеющих вид линий или фигур и представляющих собой функциональную зависимость двух физических величин, преобразованных в пропорциональные им значения напряжения. Наиболее часто исследуется зависимость напряжения от времени. С помощью осциллографа можно измерять постоянное и переменное напряжения, а также временные параметры сигналов (период, длительность и т. д.).

Структурная схема электронного осциллографа представлена на рисунке 6.2.



1 – усилитель входного сигнала; 2 – блок синхронизации; 3 – генератор сигналов; 4 – блок питания электронно-лучевой трубки; 5 – электронно-лучевая трубка; 6 – усилитель;  $K$  – катод;  $УЭ$  – управляющий электрод;  $A1$  – первый анод;  $A2$  – второй анод;  $П1$  – вертикально отклоняющие пластины;  $П2$  – горизонтально отклоняющие пластины;  $Э$  – экран

Рисунок 6.2 – Структурная схема электронно-лучевого осциллографа

Основным элементом осциллографа является электронно-лучевая трубка (ЭЛТ), которая представляет собой стеклянный баллон, в котором создан вакуум. В баллоне находятся электронная пушка, фокусирующая система, отклоняющие пластины и экран.

Электронная пушка формирует, фокусирует и ускоряет пучок электронов. Разогретый катод испускает электроны, которые вылетают, двигаясь под различными углами к оси трубки, и попадают в электрическое поле между катодом и управляющим электродом, имеющим форму цилиндра с отверстием в центре. Под действием поля, созданного УЭ, поток электронов вначале сходится в точке, называемой кроссвером, а затем расходится. Далее он фокусируется в электрическом поле фокусирующей системы, состоящей из анодов  $A1$  и  $A2$ , и далее проходит через вертикально и горизонтально отклоняющие пластины  $П1$  и  $П2$ , представляющие собой отклоняющую систему, и попадает на экран.

Поверхность экрана покрыта люминесцирующим веществом. Поэтому при взаимодействии электрона с молекулами люминофора в соответствующей точке экрана возникает свечение – часть кинетической энергии электрона преобразуется в световую.

Яркость и форму пятна-точки можно регулировать. Смещать точку на экране ЭО можно, подавая напряжения на вертикально отклоняющие или горизонтально отклоняющие пластины, при этом величина смещения будет всегда прямо пропорциональна поданному напряжению. В результате точка будет двигаться на экране по некоторой траектории.

Если напряжения на пластинах изменяются синхронно и периодически с частотой выше 20 Гц, то изображение перестает восприниматься как движущаяся по экрану светящаяся точка, а воспринимается как непрерывная линия – осциллограмма. Таким образом, на экране ЭО можно наблюдать вид зависимости одной величины от другой.

Однако при таком изображении сигнала на экране невозможно определить период и форму сигнала. Чтобы решить данную проблему, на горизонтально отклоняющие пластины подается напряжение, прямо пропорциональное времени (или пилообразное напряжение, т. к. его график напоминает зубья пилы), которое называют сигналом развертки. При отсутствии напряжения на вертикально отклоняющих пластинах на экране вычерчивается прямая горизонтальная линия.

Цифровой осциллограф – это конструктивное объединение аналогового осциллографа и электронно-вычислительной машины. На рисунке 6.3 приведена упрощенная структурная схема цифрового осциллографа.

В электронном и цифровом осциллографе изображение, т. е. изменение измеряемой величины, получают на экране электронно-лучевой трубки или жидкокристаллическом экране. Это изображение фотографируют, перерисовывают или запоминают на электронном носителе. Тогда полученное изображение процесса можно многократно повторить. Обычно электронно-лучевые осциллографы применяют для регистрации высокочастотных процессов (более 1 кГц).

Главной частью цифрового осциллографа является компьютер, который через органы управления обеспечивает связь осциллографа с пользователем, а также управляет всеми узлами осциллографа.

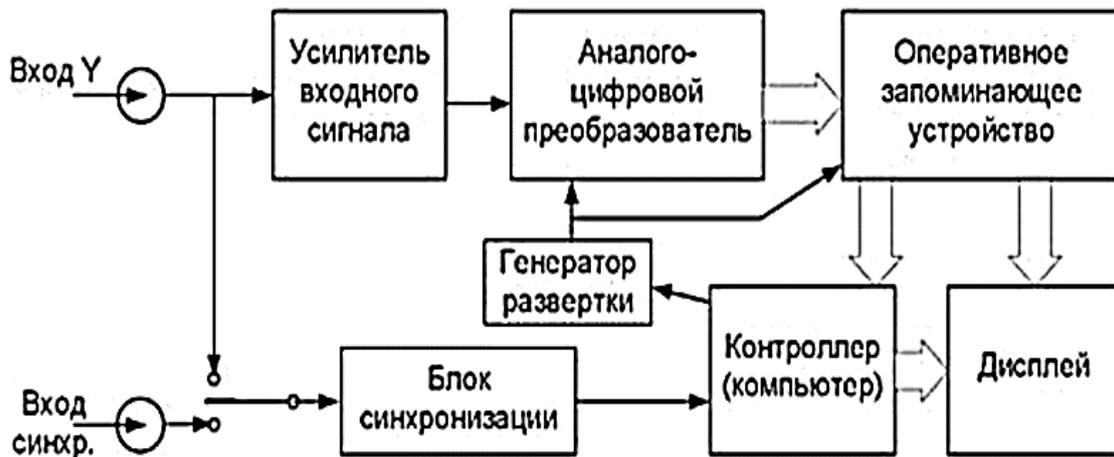


Рисунок 6.3 – Структурная схема цифрового осциллографа

Исследуемый входной сигнал  $U$  через усилитель входного сигнала попадает на вход аналого-цифрового преобразователя (АЦП), который с частотой, определяемой генератором развертки, производит преобразование (оцифровку) мгновенных значений входного сигнала в цифровой код. Частоту генератора развертки (частоту дискретизации) можно изменять в широких пределах, что соответствует изменению масштаба по горизонтали и аналогично изменению скорости развёртки в аналоговых осциллографах.

На выходе АЦП входной сигнал представлен дискретной последовательностью кодовых слов, которые записываются в оперативное запоминающее устройство (ОЗУ). Запись данных в ОЗУ осуществляется таким образом, что каждое новое значение вытесняет из ОЗУ наиболее старое по времени значение.

Для получения устойчивого изображения исследуемого сигнала в осциллографе осуществляется синхронизация напряжения развертки с исследуемым сигналом. Если выбранный для синхронизации сигнал соответствует заданным в настройках параметрам (полярности, уровню), блок синхронизации сообщает об этом контроллеру, который производит оцифровку следующих точек исследуемого сигнала, а затем останавливает генератор развертки. Последняя запись точек в ОЗУ отображается на экране дисплея. Каждой ячейке ОЗУ соответствует точка на экране, по цвету отличающаяся от фона. Ее горизонтальная координата определяется номером ячейки, а вертикальная – кодовым словом, находящимся в этой ячейке. Таким образом, пользователь видит на дисплее изображение входного сигнала практически в реальном времени.

Используя возможности компьютера цифрового осциллографа, можно не только наблюдать входные сигналы в реальном времени, но и выполнять различ-

ные математические операции с ними: усреднять входной сигнал для уменьшения шума, складывать и вычитать сигналы в разных каналах, растягивать во времени фрагменты записанного в память сигнала, определять частотный спектр сигнала, измерять различные параметры входных сигналов (амплитуда, частота, период и т. п.).

Кроме того, многие модели цифровых осциллографов способны выводить изображение с экрана на печатающее устройство (принтер), записывать оцифрованный входной сигнал на носители информации – дискеты или другие устройства хранения, передавать накопленные данные. Все эти возможности цифровых осциллографов приводят к тому, что они постепенно вытесняют все остальные виды осциллографов.

## ***6.2 Порядок выполнения работы***

- 1 Изучить конструкцию и принцип действия осциллографов.
- 2 Подключить датчик перемещения в измерительную схему с осциллографом.
- 3 Перемещая сердечник датчика случайным образом в обе стороны, получить осциллограммы при различных настройках осциллографа.
- 4 Определить по осциллограмме максимальные перемещения в обе стороны.

## ***6.3 Содержание отчета***

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Краткое описание принципа действия и конструкций осциллографов.
- 4 Характеристика используемых измерительных средств.
- 5 Результаты измерений и их обработка.
- 6 Выводы.

## ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие типы осциллографов применяют?
- 2 Какую функцию выполняет осциллограф в измерительной схеме?
- 3 Как устроен светолучевой осциллограф?
- 4 Каков принцип действия светолучевого осциллографа?
- 5 Какими параметрами характеризуются магнитоэлектрические гальванометры?
- 6 Каково устройство электронно-лучевого осциллографа?
- 7 Каков принцип действия электронно-лучевого осциллографа?
- 8 Какие блоки включает цифровой осциллограф?
- 9 Каков принцип действия цифрового осциллографа?

## 7 Лабораторная работа № 7. Использование ЭВМ в качестве регистрирующего прибора

**Цель работы:** изучить состав оборудования и получить навыки использования ЭВМ в качестве регистрирующего прибора.

### 7.1 Общие сведения

В настоящее время при исследовании неустановившихся процессов в качестве регистрирующего прибора наиболее часто применяют ЭВМ.

Функциональная измерительная схема с использованием ЭВМ представлена на рисунке 7.1.

Связь датчиков с общей шиной ЭВМ осуществляется через аналогово-цифровой преобразователь (АЦП), который может монтироваться непосредственно в системный блок компьютера или изготавливаться в виде отдельного устройства, соединяемого с ЭВМ, например, через USB-порт.

Управляющие сигналы от ЭВМ на какие-либо исполнительные устройства передаются через цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП).

Часто АЦП и ЦАП производят в виде одного узла, через который можно получать информацию от датчиков и управлять электродвигателем, электромагнитом и др.

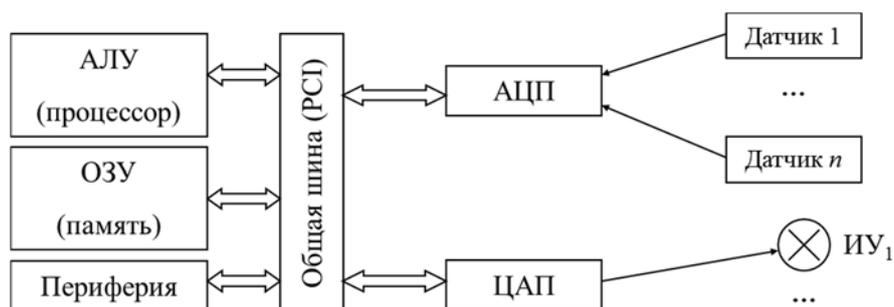


Рисунок 7.1 – Функциональная схема измерительной цепи с использованием ЭВМ

АЦП преобразует постоянное (аналоговое) напряжение в двоичный код, а ЦАП – наоборот.

Если датчик выдаёт импульсный сигнал, то АЦП сначала преобразует его в аналоговый, а затем в цифровой.

АЦП состоит из следующих блоков:

- блок управления распознаёт принимаемые от процессора команды, сохраняет код преобразованного напряжения в своей буферной памяти, выдаёт на общую шину код состояния и управляет работой других блоков АЦП;
- блок преобразования переводит уровни напряжения в двоичный код;
- коммутатор переключает каналы и диапазоны преобразований в зависимости от команд процессора.

АЦП и ЦАП при обмене данными с процессором осуществляют выполнение интерфейсных команд от процессора и выдают ему свои состояния.

АЦП имеет интерфейсные команды:

- 1) «Установить связь» (УС) – шестнадцатеричный код  $0_{16}$ ;
- 2) «Начальная установка» (НУ) –  $1_{16}$ ;
- 3) «Принять команду» (ПК) –  $B_{16}$ ;
- 4) «Выдать первый байт» (ВПБ) –  $C_{16}$ ;
- 5) «Выдать байт» (ВБ) –  $D_{16}$ ;
- 6) «Выдать байт последний» (ВБП) –  $E_{16}$ ;
- 7) «Выдать состояние» (ВС) –  $4_{16}$ .

Для ЦАП вместо 4-й, 5-й и 6-й команд используют:

- 1) «Принять первый байт» (ППБ) –  $7_{16}$ ;
- 2) «Принять байт» (ПБ) –  $8_{16}$ ;
- 3) «Принять байт последний» (ПБП) –  $A_{16}$ .

Если на магистрали состояний общей шины ЦАП или АЦП имеет место команда  $2_{16}$ , то команда выполнена и можно перейти к следующей.

После выполнения команды «ПК» указывается номер канала АЦП или ЦАП, который будет опрашиваться, а также диапазон преобразования. Это связано с тем, что любой АЦП имеет несколько диапазонов, например,  $\pm 0,5$  В и  $\pm 5$  В. Выбор диапазона зависит от чувствительности подключенного датчика.

Общая шина ЭВМ имеет следующую структуру:

- магистраль данных;
- магистраль команд;
- магистраль состояний.

Датчики к АЦП подключают по дифференциальной схеме, т. е. каждый датчик по своим двум проводам и по схеме с общим проводом (рисунок 7.2).

Схема с общим проводом позволяет подключить в 2 раза больше датчиков, но при этом возможно взаимное влияние каналов и для уменьшения помех предусматривают экранировку соединительных проводов.

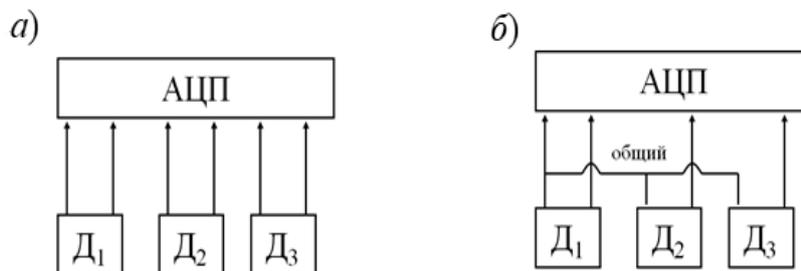


Рисунок 7.2 – Схема подключения датчиков к АЦП

Если используются не все каналы АЦП, то один из свободных можно задействовать для самоконтроля. С этой целью вход незадействованного канала следует соединить с общим проводом и организовать опрос этого канала наравне

с остальными. При обработке данных надо из показаний датчиков вычесть показания свободного канала. Это обеспечит автоматическую программную коррекцию нуля каждого датчика в случае наличия дрейфа нуля.

Применяются датчики со встроенными АЦП. На выходе такой датчик выдает двоичный код и соединяется непосредственно с общей шиной ЭВМ через USB-порт.

## **7.2 Порядок выполнения работы**

1 Изучить состав измерительной аппаратуры стенда с беговыми барабанами, оснащенного регистрирующей ЭВМ с внешним аналогово-цифровым преобразователем, датчиками угловой скорости и тензодатчиком.

2 Изучить состав измерительной аппаратуры моторно-динамического стенда, оснащенного регистрирующей ЭВМ со встроенным аналогово-цифровым преобразователем, датчиками угловой скорости коленчатого вала и выходного вала гидромеханической коробки передач.

3 Включить ЭВМ и запустить программу *LGraph 2*.

4 Вращая вал ротора датчика угловой скорости случайным образом в обе стороны и деформируя пластинку с тензодатчиком, получить осциллограммы на экране ЭВМ.

5 Выполнить настройку отображения результатов измерений и сохранить полученные зависимости.

## **7.3 Содержание отчета**

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Структурные схемы измерительных цепей стендов с использованием регистрирующей ЭВМ.

4 Характеристики используемых средств измерений.

5 Результаты измерений и их обработка.

6 Выводы.

## **Контрольные вопросы**

1 Каков состав средств регистрирующего устройства с использованием ЭВМ?

2 Какие типы АЦП применяют?

3 Какие блоки входят в состав АЦП?

4 Какие способы подключения датчиков к АЦП применяют?

5 Какая схема позволяет подключить к АЦП больше датчиков?

## 8 Лабораторная работа № 8. Сборка измерительных схем

**Цель работы:** изучить состав оборудования и получить навыки использования ЭВМ в качестве регистрирующего прибора.

### 8.1 Общие сведения

Измерение – процесс, заключающийся в определении значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Результатом измерения является некоторое число, дающее количественную информацию о свойствах измеряемой физической величины.

Измерительный прибор – средство измерений, предназначенное для выдачи количественной информации об измеряемой величине в доступной для восприятия форме.

Измерения бывают:

– прямые: искомые значения величин определяют непосредственно из экспериментальных данных;

– косвенные: значения физических величин находят по результатам прямых измерений других величин, связанных с искомой известной зависимостью.

Измерительно-информационная система (ИИС) – комплекс устройств для получения, преобразования и выдачи измерительной информации.

Они могут иметь один или несколько каналов измерения, давать мгновенное значение измеряемой величины, вычислять ее среднее или суммарное за опыт значение и т. д.

ИИС, в зависимости от вида выходного сигнала, делятся на два класса:

1) аналоговые ИИС выдают результат измерения в виде непрерывного во времени сигнала;

2) дискретные ИИС – в виде множества значений некоторой величины через определенные временные или другие интервалы.

По принципу измерения ИИС разделяют на:

– механические;

– гидравлические;

– пневматические;

– электрические.

При испытаниях самоходной техники измеряют:

– механические величины – угловые скорости, моменты, линейные скорости, углы поворота и др.;

– гидравлические величины – давления, расходы;

– электрические величины – напряжения, силы тока;

– параметры и характеристики другой физической природы.

Современная регистрирующая аппаратура ИИС чаще всего обрабатывает исключительно электрические сигналы, т. е. по принципу электрических измерений неэлектрических величин.

Информация о значениях измеряемых величин различной физической природы преобразуется в электрические сигналы, изменения напряжения и силы тока.

Схема измерений неэлектрической величины на рисунке 8.1 в общем случае состоит из:

- 1) первичного преобразователя (датчика), дающего электрический сигнал, пропорциональный значению измеряемой механической величины;
- 2) промежуточного преобразователя, осуществляющего масштабное преобразование сигнала и его компенсацию;
- 3) линий и устройств связи (токоъемник, кабель, телеметрия);
- 4) усилителя;
- 5) функционального преобразователя;
- 6) регистрирующего устройства (ЭВМ, осциллографа, самописца и т. п.), которое записывает сигнал на свой носитель информации;
- 7) пульта управления;
- 8) блока питания.

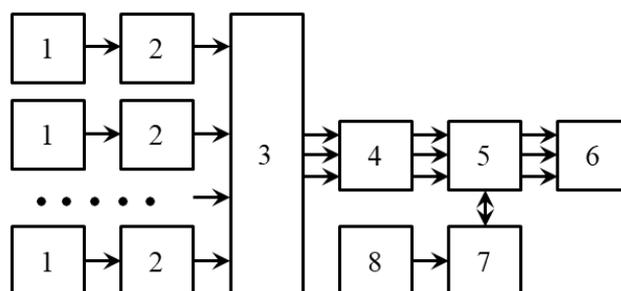


Рисунок 8.1 – Схема измерительной цепи

К измерительной аппаратуре предъявляют следующие требования:

- 1) компактность и лёгкость;
- 2) стойкость к динамическим перегрузкам;
- 3) стойкость к повышенным и пониженным температурам;
- 4) стойкость к воздействию пыли, влаги, грязи, топливу;
- 5) достаточно высокие чувствительность и разрешающая способность;
- 6) возможность электропитания от бортовой сети;
- 7) линейность характеристики во всем диапазоне изменения значений измеряемых величин.

## 8.2 Порядок выполнения работы

1 Изучить состав измерительной цепи для неэлектрических величин.

2 Собрать измерительную цепь для оценки ускорений с использованием различных регистрирующих устройств, продемонстрировать преподавателю результаты работы.

3 Собрать измерительную цепь для оценки перемещений с использованием различных регистрирующих устройств, продемонстрировать преподавателю результаты работы.

### 8.3 Содержание отчета

- 1 Название работы.
- 2 Цель работы.
- 3 Схемы измерительных цепей.
- 4 Характеристики используемых средств измерений.
- 5 Выводы.

#### Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение термину «измерение».
- 2 Какие типы измерений применяют?
- 3 Что называют измерительным прибором?
- 4 Дайте определение термину «ИИС».
- 5 По каким признакам классифицируют ИИС?
- 6 Какие элементы содержит схема измерений неэлектрической величины?
- 7 Перечислите требования к измерительному оборудованию.

## 9 Лабораторная работа № 9. Калибровка и тарировка средств измерений, определение погрешности измерений

**Цель работы:** изучить состав оборудования и получить навыки использования ЭВМ в качестве регистрирующего прибора.

### 9.1 Общие сведения

Перед испытаниями какого-либо объекта после сборки измерительной цепи проводят её калибровку (установку нуля), тарировку (масштабирование) с учётом АЧХ и оценку погрешности измерений.

Тарировка аппаратуры сводится к нахождению коэффициента тарировки измерительной схемы.

Коэффициент тарировки – это отношение приращения входного сигнала  $dA$  измеряемой величины к приращению выходного сигнала  $dZ$  на регистрирующем приборе:

$$k = dA / dZ. \quad (9.1)$$

Калибровку и тарировку измерительной схемы осуществляют прибором-указателем с известной ценой деления.

Различают два способа тарировки индикаторов:

- 1) статический;
- 2) динамический.

Способ статической тарировки состоит в том, что датчик нагружают заранее известным воздействием и определяют соответствующую ему величину выходного сигнала. Входной сигнал  $A$  изменяют от минимального до максимального значений, регистрируют выходной сигнал  $Z$ . По результатам строят графики  $Z = f(A)$  и  $k = f(A)$ .

Задавая допустимым отклонением коэффициента тарировки  $\Delta k$  ( $\pm 5\%$ ), определяют диапазон линейной зависимости выходного сигнала от входного (рисунок 9.1).

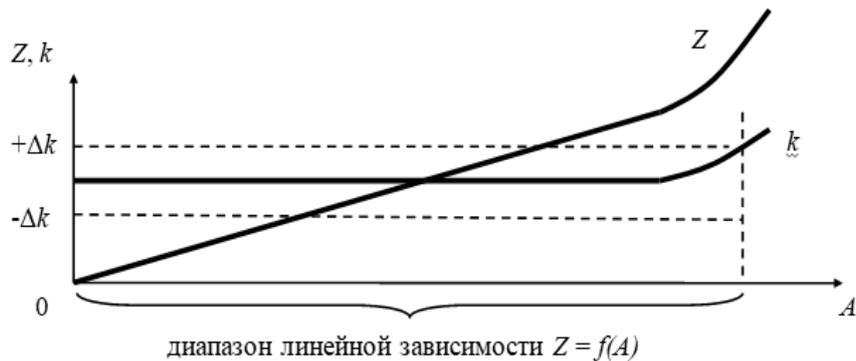


Рисунок 9.1 – Определение диапазона линейной зависимости выходного сигнала

Динамическая тарировка осуществляется путем нагружения датчика воздействием, амплитуда и частота колебания которого известны. Получение такого воздействия сопряжено с большими техническими трудностями.

Если измеряемая величина меняется со значительной частотой (более 10 Гц), то проводят не только статическую тарировку, но и динамическую. При этом определяют зависимость динамического коэффициента тарировки  $k_d$  от частоты исследуемого процесса  $\Omega$ . Тогда АЧХ измерительной цепи определится зависимостью

$$Z(\Omega) = k / k_d. \quad (9.2)$$

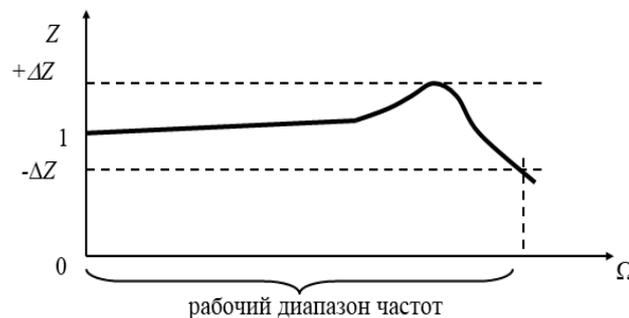


Рисунок 9.2 – АЧХ измерительной цепи

Погрешность измерения – отклонение измеренного значения величины от её истинного (действительного) значения, является характеристикой точности измерения.

При измерениях могут быть погрешности случайные и систематические. И те и другие обусловлены источниками:

- а) исследователем;
- б) приборами;
- в) внешними факторами, например вибрацией.

Случайная погрешность – составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины, проведённых в одних и тех же условиях, не наблюдается закономерности, обнаруживаются в виде разброса получаемых результатов.

Систематическая погрешность – составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно меняющаяся при повторных измерениях одной и той же величины, проведенных в одних и тех же условиях, представляют собой определенную функцию неслучайных факторов, состав которых зависит от физических, конструкционных и технологических особенностей средств измерений, условий их применения, а также индивидуальных качеств наблюдателя.

Любое средство измерения имеет погрешности:

- 1) статическую;
- 2) динамическую.

Статическая погрешность – это погрешность, которая возникает в процессе измерения постоянной (не изменяющейся во времени) величины.

Статическая погрешность состоит из:

- 1) основной, которая характеризует измерительный прибор при нормальных условиях ( $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 0,1\text{ МПа}$  ...);
- 2) дополнительной, которая связана с отклонениями от нормальных значений внешних факторов.

Абсолютная погрешность прибора – это наибольшая разность между его показанием и действительным значением, зарегистрированным эталонным прибором.

Для оценки точности средств измерений используют их приведенную погрешность – это отношение цены деления к измеряемому прибором диапазону.

Динамическая погрешность – это погрешность, численное значение которой вычисляется как разность между погрешностью, возникающей при измерении непостоянной (переменной во времени) величины, и статической погрешностью (погрешностью значения измеряемой величины в определенный момент времени).

Для оценки погрешности (доверительного интервала) экспериментальной характеристики при возможности многократных измерений в каждой её точке выполняются следующие действия:

- 1) при регистрации каждой  $j$ -й точки  $Z_j$  определяемой характеристики необходимо выполнить несколько параллельных опытов ( $n \geq 3$ );

2) вычислить среднее значение регистрируемой величины для каждой  $j$ -й точки снимаемой характеристики  $Z_{j,cp}$ ;

3) оценить среднее квадратическое отклонение для каждой  $j$ -й точки:

$$\sigma_{zj} = \sqrt{\frac{\sum (Z_{ji} - Z_{j,cp})^2}{n-1}}; \quad (9.3)$$

4) определить доверительный интервал  $a_Z$  в каждой  $j$ -й точке снимаемой характеристики:

$$a_Z = \pm t_\alpha \sigma_{zj}, \quad (9.4)$$

где  $t_\alpha$  – коэффициент Стьюдента для данного количества повторных измерений и принятой доверительной вероятности  $\alpha$  (как правило, принимают  $\alpha = 0,95$ ). Тогда для числа параллельных опытов  $n = 3$  коэффициент  $t_\alpha = 4,30$ ; для  $n = 4$  имеем  $t_\alpha = 3,18$ ; для  $n = 5$  имеем  $t_\alpha = 2,78$ ).

При однократных измерениях в каждой точке снимаемой характеристики погрешность измерений будет определяться приведенными погрешностями приборов, составляющих измерительную схему:

$$a_Z = \sqrt{a_1^2 + a_2^2 + \dots}, \quad (9.5)$$

где  $a_i$  – отношение цены деления прибора к измеряемому диапазону.

## **9.2 Порядок выполнения работы**

1 Собрать измерительную цепь для оценки ускорений, откалибровать её и определить коэффициент тарировки.

2 Собрать измерительную цепь для оценки перемещений, откалибровать её и определить коэффициент тарировки.

3 Отобразить в отчёте полученные коэффициенты тарировки.

4 Определить доверительный интервал коэффициента тарировки для цепи измерения перемещений, отразив полученные данные в отчёте.

## **9.3 Содержание отчета**

1 Название работы.

2 Цель работы.

3 Результаты измерений и их обработка.

4 График тарировки измерительной цепи.

5 Выводы.

### ***Контрольные вопросы***

- 1 Какие виды погрешностей возникают при измерениях?
- 2 В чем заключается калибровка измерительной схемы?
- 3 В чем заключается тарировка измерительной схемы?
- 4 Какие способы тарировки применяют?
- 5 Какие методики оценки погрешности измерений применяют?

### **Список литературы**

- 1 **Клименков, С. С.** Нормирование точности и технические измерения: учебник / С. С. Клименков, А. Н. Голубев. – Минск : РИВШ, 2023. – 264 с.
- 2 **Завистовский, В. Э.** Допуски, посадки и технические измерения : учеб. пособие / В. Э. Завистовский, С. Э. Завистовский. – М. : ИНФРА-М, 2025. – 278 с.
- 3 **Этингоф, М. И.** Приборы для линейных измерений : учеб. пособие / М. И. Этингоф. – М. : ИНФРА-М, 2021. – 264 с.
- 4 **Иванова, Н. И.** Методы и средства измерений, контроля и испытаний : учеб. пособие / Н. И. Иванова. – М. ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. – 208 с.
- 5 **Пелевин, В. Ф.** Метрология и средства измерений : учеб. пособие / В. Ф. Пелевин. – М. : ИНФРА-М, 2023. – 273 с. : ил.