

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«СЕВАСТОПОЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ

Часть 1

Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам по дисциплине
для студентов очной формы обучения
направления подготовки
12.03.01 Приборостроение

Севастополь
СевГУ
2021

УДК 681.2
ИЗ7

Р е ц е н з е н т:

А.Ю. Тараховский – к.т.н., доцент кафедры «Технология машиностроения»

Составители: А.П. Васютенко, Н.А. Балакина

ИЗ7 Измерительные информационные системы : учебно-методическое пособие к лабораторным работам по дисциплине для студентов очной формы обучения направления подготовки 12.03.01 Приборостроение. Часть 1 / А.П. Васютенко, Н.А. Балакина. – Севастополь: СевГУ, 2021. – 62 с. – Текст : электронный.

Учебно-методическое пособие предназначено для учебно-методического обеспечения дисциплины «Измерительные информационные системы».

Целью учебно-методического пособия является оказание помощи студентам при выполнении лабораторных работ. Целью учебно-методического пособия является приобретение студентами практических навыков сборки, разборки и регулировки контрольно-измерительных станций экспериментальных исследований их точности в зависимости от различных преобразователей, обработки результатов измерений.

УДК 681.2

Учебно-методическое пособие рассмотрено и утверждено на заседании кафедры «Приборные системы и автоматизация технологических процессов», протокол № 7 от 29 января 2021 г.

Рекомендовано в качестве учебно-методического пособия для студентов очной формы обучения направления подготовки 12.03.01 Приборостроение.

СОДЕРЖАНИЕ

Лабораторная работа № 1. Изучение конструкции, наладки и принципа действия контрольно-измерительной станции на основе растровой цифровой системы модели 19000 и исследование ее характеристик	4
Лабораторная работа № 2. Изучение конструкции, наладки и принципа действия КИС с фотоэлектрическим преобразователем и исследование ее характеристик	10
Лабораторная работа № 3. Изучение конструкции, наладки и принципа действия КИС с емкостным преобразователем и исследование ее характеристик	16
Лабораторная работа № 4. Изучение конструкции, наладки и принципа действия КИС с индуктивным преобразователем и исследование ее характеристик	22
Лабораторная работа № 5. Изучение конструкции, наладки и принципа действия КИС с электроконтактным преобразователем и исследование ее характеристик	28
Лабораторная работа № 6. Изучение конструкции, наладки и принципа действия КИС с механотронным преобразователем и исследование ее характеристик	34
Лабораторная работа № 7. Изучение конструкции, наладки и принципа действия лабораторного стенда для моделирования торцового биения и исследование его характеристик	40
Лабораторная работа № 8. Изучение конструкции, монтажа и эксплуатации КИС на базе преобразователя линейных перемещений	46
Лабораторная работа № 9. Изучение конструкции, наладки и принципа действия КИС для контроля радиального и торцового биений деталей типа “вал” относительно геометрической оси центровых отверстий и исследование ее характеристик	56
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	62

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1.
ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ
КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ НА ОСНОВЕ
РАСТРОВОЙ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ МОДЕЛИ 19000
И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков контрольно-измерительной станции (КИС) и способов ее компоновки;
- определение метрологических характеристик КИС;
- исследование погрешностей измерений.

1. Общие сведения

Система растровая цифровая модели 19000 (ТУ 2-034-3214-83) предназначена для проведения прецизионных измерений абсолютным методом в пределах широкого диапазона без применения эталонов, образцовых деталей и концевых мер. Система, состоящая из фотоэлектрического преобразователя и электронного блока с отсчетным устройством, обладает высокой точностью и надежностью. Имеет небольшие габариты. Получаемая информация представляется в цифровой форме с дискретностью в 1 мкм на отсчетном устройстве электронного блока. Одновременно данная информация выводится на специальную шину в параллельном двоично-десятичном коде. Она может быть использована в системах обработки данных с помощью ЭВМ и в системах управления.

Технические характеристики растровой системы цифровой модели 19000 представлены в табл. 1.1 [1].

Таблица 1.1 – Техническая характеристика

№	Наименование	Значение
1.	Диапазон измерений (показаний), мм	0-10
2.	Шаг дискретности, мкм	1
3.	Предел допускаемой погрешности, мкм	2
4.	Предел допускаемого смещения настройки в течение 4 часов при сохранении температурных режимов в помещении, мкм	1
5.	Измерительное усилие, Н, не более	3
6.	Колебание измерительного усилия, Н, не более	1,2
7.	Скорость перемещения измерительного стержня, мм/с, не более	10
8.	Присоединительный диаметр втулки, мм	8h7
9.	Габаритные размеры растрового преобразователя, мм, не более	80x35x140
10.	Габаритные размеры электронного блока, мм, не более	270x300x85
11.	Масса растрового преобразователя, кг, не более	0,3
12.	Масса электронного блока, кг, не более	3,5

Фотоэлектрический растровый преобразователь закрепляется в стандартной стойке с присоединительным диаметром 8 мм. Преобразователь снабжен арретиром, позволяющим поднимать измерительный стержень на весь диапазон измерения и оснащен сменным наконечником со стандартным креплением на резьбу *M2,5*.

Электронный блок снабжен кнопкой обнуления в любой точке диапазона измерения, что позволяет использовать систему для относительных измерений. При необходимости измерительная информация может быть зафиксирована на отсчетном устройстве нажатием соответствующей кнопки на электронном блоке.

Условия эксплуатации приведены в табл. 1.2.

Таблица 1.2 – Условия эксплуатации

№	Наименование	Значение
1.	Температура окружающей среды, °С	от 18 до 25
2.	Изменение температуры, °С/ч	1
3.	Относительная влажность окружающего воздуха, %	58±20
4.	Род тока питающей сети	переменный
5.	Напряжение питания, В	220±10
6.	Частота питающего напряжения, Гц	50
7.	Потребляемая мощность, Вт, не более	10

2. Описание лабораторной установки

Состав КИС представлен на рис. 1.1. На рис. 1.1 приняты следующие обозначения: **1** - фотоэлектрический растровый преобразователь; **2** - электронный блок; **3** – стандартная стойка; **4** - измерительный стержень; **5** - кабель; **6** - кнопка памяти; **7** - цифровая отсчетная шкала; **8** - кнопка установки нуля; **9** - тумблер включения в сеть; **10** - арретир.

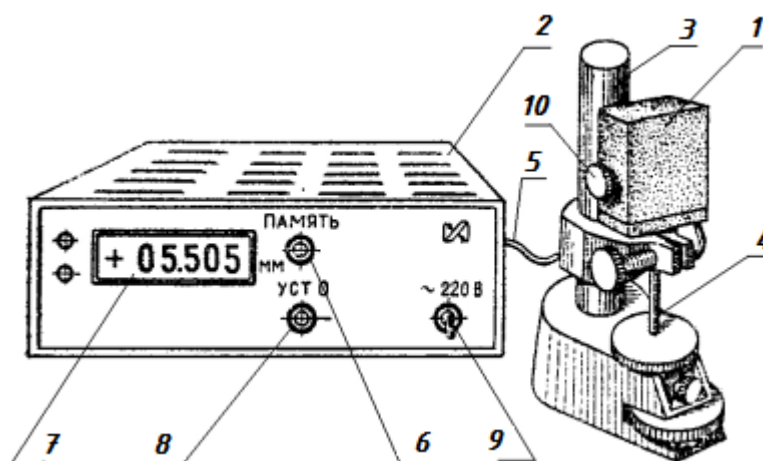


Рисунок 1.1 – Контрольно-измерительная станция с растровой цифровой измерительной системой модели 19000

КИС состоит из трех узлов: растрового фотоэлектрического преобразователя 1, электронного блока 2 и измерительной стойки 3 для крепления преобразователя. Преобразователь выполнен в виде измерительной головки с закрытым корпусом, имеющей арретирующее устройство 10 и кабель, соединяющий ее с электронным блоком. Электронный блок выполнен в корпусе блочного типа, имеющего на передней панели: цифровую отсчетную шкалу 7; кнопку 8 установки «0»; кнопку запоминания результатов отсчета; тумблер включения 9. На задней панели электронного блока располагаются: кабель питания; предохранитель; разъем преобразователя; вывод информации на ЭВМ в двоично-десятичном параллельном коде; клемма заземления. Стандартная измерительная стойка 3 с присоединительным диаметром 8 мм служит для закрепления преобразователя на позиции измерения.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Перед началом работы с КИС необходимо изучить настоящее описание назначение органов управления и разъемов на электронном блоке. Работа системы должна происходить в условиях, которые не выходят за пределы рабочих условий эксплуатации. Питающая сеть не должна иметь резких скачков напряжения. Рядом с рабочим местом не должно быть источников сильных магнитных и электрических полей.

2. Установить систему на рабочее место и проверить ее устойчивое состояние.

3. Заземлить электронный блок.

4. Закрепить растровый преобразователь в стойке с соединительным диаметром 8 мм надежно, но без пережимов, т.к. при пережиме возможна остановка шпинделя.

5. Соединить растровый преобразователь разъемом с электронным блоком и установить тумблер на передней панели в положение «включено».

6. Подсоединить систему к сети переменного тока 220 В.

7. Перевести тумблер на передней панели электронного блока в положение (включено), при этом загорятся лампы цифровой индикации на табло.

8. Протереть измерительный наконечник, базовую поверхность стола измерительной стойки и контролируемые детали чистой тканью.

9. Кронштейн стойки с преобразователем, закрепленным в нем, плавно переместить вниз до соприкосновения измерительного наконечника преобразователя с поверхностью контролируемой детали, установленной на базовой поверхности стола стойки.

10. Обеспечить натяг 40...50 мкм и зафиксировать кронштейн на колонке стойки.

11. Установить деталь на измерительный столик и кнопкой установки нуля установить показания на цифровом табло в ноль.

12. Проверить установку нуля путем многократного (3 - 5 раз) арретирования измерительного наконечника.

13. Произвести контроль детали в **10** точках, перемещая ее по базовой поверхности стола стойки с предварительным арретированием измерительного наконечника.

14. Снять отсчеты по цифровому табло на электронном блоке.

15. Занести результаты измерений в табл. 1.3.

16. Произвести обработку результатов измерений.

17. Представить результат измерения с учетом границ доверительного интервала при заданной преподавателем вероятности Р.

18. Выполнить эскизы отдельных узлов и блоков КИС (по указанию преподавателя).

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Снять отсчеты по цифровому табло на электронном блоке и занести результаты измерений в табл. 1.3

Таблица 1.3 – Результаты исследований

№	Показание прибора	Действительное значение R_{xi}	Среднее значение $\bar{R}_x$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x
1							
2							
...							
25							

2. Найти текущее действительное значение

3. Найти среднее арифметическое результатов измерений по формуле

$$\bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} ,$$

где n – число наблюдений.

Значение $\bar{R}_x$ определяет эмпирический центр группирования случайной величины R_{xi} .

4. Найти эмпирическое среднее квадратическое отклонение, которое определяет рассеяние значений случайных величин в выборке относительно эмпирического центра группирования, по формуле

$$S \approx \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2}{n-1}} .$$

Чем меньше значение S , тем выше точность измерений, т.е. меньше случайные погрешности измерений.

5. Определить границы доверительного интервала, внутри которых с заданной вероятностью $P=0,95$ будет находиться действительное значение измеряемой величины, по формуле

$$\Delta R_x = \pm t \cdot S,$$

где t – коэффициент Стьюдента (табл. 1.2);

S – средняя квадратическая погрешность результата измерения.

Таблица 1.2 – Значение коэффициента t случайной величины, имеющей распределение Стьюдента со степенями свободы $f = n - 1$

Число степеней свободы f , $f = n - 1$	Доверительная вероятность, P			Число степеней свободы f , $f = n - 1$	Доверительная вероятность, P		
	95%	99%	99,5%		95%	99%	99,5%
1	12,71	63,66	127,3	16	2,120	2,921	3,252
2	4,303	9,925	14,09	17	2,110	2,898	3,222
3	3,182	5,841	7,453	18	2,101	2,878	3,197
4	2,776	4,604	5,598	19	2,093	2,861	3,174
5	2,571	4,032	4,773	20	2,086	2,845	3,153
6	2,447	3,707	4,317	21	2,080	2,831	3,135
7	2,365	3,499	4,029	22	2,074	2,819	3,119
8	2,306	3,355	3,833	23	2,069	2,807	3,104
9	2,262	3,250	3,690	24	2,064	2,797	3,091
10	2,228	3,169	3,581	25	2,060	2,787	3,078
11	2,201	3,106	3,497	26	2,056	2,779	3,067
12	2,179	3,055	3,428	27	2,052	2,771	3,057
13	2,160	3,012	3,372	28	2,048	2,763	3,047
14	2,145	2,977	3,326	29	2,045	2,756	3,038
15	2,131	2,947	3,286	30	2,042	2,750	3,030

6. Результат измерения: $R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$ при $P = \dots$.

7. Суммарная погрешность измерения $\Delta_{lim} = \pm 3\sigma$.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).

5. Результаты эксперимента.
 6. Результаты расчетов.
 7. Выводы по результатам исследований.
- Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение цифровой растровой цифровой системы модели 19000, устройство, принцип действия.
2. Основные узлы КИС, их назначение, особенности конструкции.
3. Конструктивные изменения КИС для обеспечения переналаживаемости в соответствии с поставленной задачей.
4. Назначение параметра S и способ его определения.
5. Представление результата измерения с учетом доверительного интервала.
6. Как исключаются промахи из ряда наблюдений.
7. Методы измерений.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КИС С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки,
- определение метрологических характеристик КИС;
- исследование погрешностей измерений.

1. Общие сведения

Одним из главных узлов данной КИС является фотоэлектрический преобразователь модели ПФС.

Фотоэлектрические преобразователи относятся к типу радиационных. В них используются светочувствительные преобразователи лучистой энергии в электрическую.

Для контроля размеров применяют разнообразные фотоэлектрические преобразователи; бесконтактные, основанные на определении положения плоскости изображения контролируемой поверхности; бесконтактные комбинированные; контактные, использующие перекрытие светового потока; контактные, основанные на измерении величины и положения светового потока; контактные, использующие явление интерференции или дифракции света в растровых (дифференциальных) решетках и т.д.

Достоинством фотоэлектрических преобразователей являются:

- отсутствие открытых электрических контактов,
- помехоустойчивость,
- простота устройства и эксплуатации,
- долговечность,
- быстрое действие и т.д.

В прецизионных автоматах для контроля размеров преимущественно используются контактные фотоэлектрические преобразователи с пружинным механизмом. Преобразователи имеют точную шкалу для визуального отсчета, чем обеспечивают удобство их настройки и наладки.

Преобразователь типа ПФС относится к позиционным преобразователям. В основном такие преобразователи применяются в контрольно-сортировочных автоматах.

На рисунке 2.1 приведена принципиальная схема фотоэлектрического преобразователя модели ПФС.

В качестве первичного чувствительного элемента в этом преобразователе используется скрученная пружина (лента) 3, изготавливаемая из оловянно-фосфористой бронзы, шириной 0,12...0,17 и толщиной 0,008...0,016 мм. Одна половина ленты скручена вправо, а другая влево. При приложении к концам

ленты растягивающих усилий она раскручивается, вследствие чего поворачивается зеркало [10](#), прикрепленное к середине пружины.

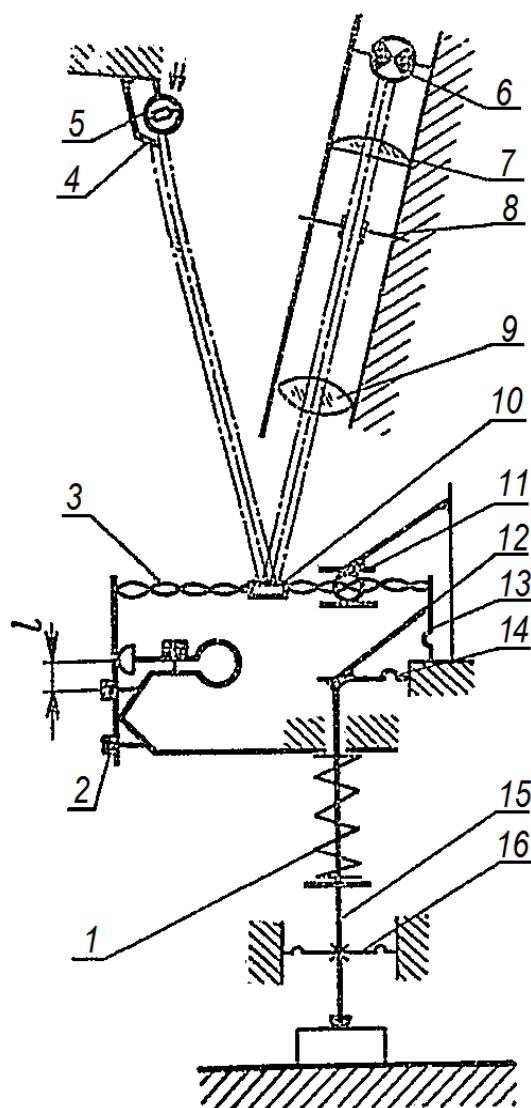


Рисунок 2.1 – Принципиальная схема позиционного преобразователя модели ПФС

Измерительный стержень [15](#) подвешен на плоских пружинах [14](#) и [16](#). Скрученная лента [3](#) связана со стержнем через плоскую пружину [13](#) и жесткое ребро [12](#). При перемещении стержня [15](#) вверх лента [3](#) растягивается и зеркальце [10](#) поворачивается.

Световой зайчик движется по шкале [4](#) и освещает фоторезисторы [5](#), которые включены в электрическую цепь последовательно с катушками исполнительных реле. При засветке фоторезистора уменьшается его сопротивление, увеличивается проходящий по цепи ток, в результате чего срабатывают исполнительные реле и выдают дискретные сигналы-команды.

Для уменьшения амплитуды собственных колебаний зеркала, а также для улучшения динамической характеристики преобразователя в конструкции применен жидкостный демпфер. Он состоит из шеллаковой бусинки [11](#), диаметром 0,8-1 мкм, которая закреплена на перемычке рядом с зеркальцем и находится в

цилиндрическом отверстии корпуса демпфера, диаметр которого – 1,5 мм. Отверстие заполнено невысыхающей жидкостью полисилоксанового типа. Жидкость в отверстии удерживается силами поверхностного натяжения.

Оптическая система преобразователя состоит из источника света 6, конденсатора 7, щелевой диафрагмы со штрихом 8 и объектива 9. Измерительное усилие создается пружиной 1.

Допускаемая погрешность измерения не более ± 1 мкм.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 2.2) состоит из 2-х основных узлов: фотоэлектрического преобразователя 9 и унифицированной стойки.

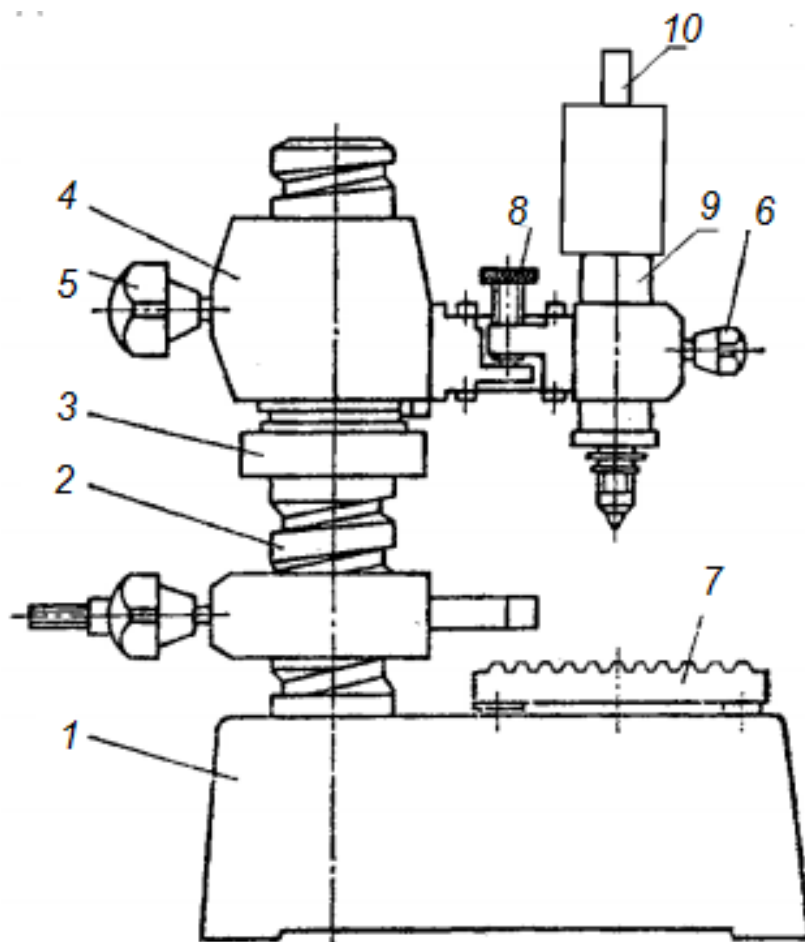


Рисунок 2.2 – Контрольно-измерительная станция с фотоэлектрическим преобразователем модели ПФС

Стойка имеет основание 1 с цилиндрической колонкой 2, по которой может перемещаться кронштейн 4. Гайка 3 исключает возможность кронштейна 4 в незакрепленном состоянии. Кронштейн закрепляют на колонке винтом 5. Преобразователь 9 устанавливают в кронштейне 4 и закрепляют с помощью винта 6. Измеряемое изделие устанавливают на ребристый стол 7, жестко скрепленный с основанием стойки тремя винтами.

В кронштейн встроен механизм микроподачи, осуществляемой винтом 8.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Перед началом работы с КИС необходимо изучить описание и назначение фотоэлектрических преобразователей, их устройство и принцип действия.
2. Проверить устойчивое состояние системы на рабочем месте.
3. Установить в универсальной стойке фотоэлектрический преобразователь 9 модели ПФС и закрепить винтом 6.
4. Подключить через трансформатор осветитель 10.
5. Установить на столик 7 образцовую деталь и, вращая гайку 3 колонки 2 при отвернутом винте 5, переместить кронштейн 4 с преобразователем 9 до контакта его измерительного наконечника с блоком мер.
6. Настроить световой курсор преобразователя 9 на середину шкалы с помощью грубой (вращением гайки 3) и точной (микровинтом 8) настройки и закрепить кронштейн 4 винтом 5.
7. Арретируя измерительный наконечник преобразователя 9, произвести контроль детали в 10 точках.
9. Результаты измерений занести в табл. 2.1.
10. Произвести обработку результатов измерений.
11. Представить результат измерений с учетом границ доверительного интервала при доверительной вероятности $P = 0,95$.
12. Определить предельную погрешность измерения.
13. Выполнить эскизы отдельных узлов и блоков КИС (по указанию преподавателя).

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Снять отсчеты по шкале фотоэлектрического преобразователя результаты измерения занести в табл. 2.1.

Таблица 2.1 – Результаты исследований

№	Показание прибора	Действительное значение R_{xi}	Среднее значение $\bar{R}_x$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x
1							
2							
...							
10							

2. Найти текущее действительное значение.
3. Найти среднее арифметическое результатов измерений по формуле

$$\bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} ,$$

где n – число наблюдений.

Значение $\bar{R}_x$ определяет эмпирический центр группирования случайной величины R_{xi} .

4. Найти эмпирическое среднее квадратическое отклонение, которое определяет рассеяние значений случайных величин в выборке относительно эмпирического центра группирования, по формуле

$$S \approx \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2}{n-1}} .$$

Чем меньше значение S , тем выше точность измерений, т.е. меньше случайные погрешности измерений.

5. Определить границы доверительного интервала, внутри которых с заданной вероятностью P будет находиться действительное значение измеряемой величины, по формуле

$$\Delta R_x = \pm t \cdot S ,$$

где t – коэффициент Стьюдента (табл. 2.2); S – средняя квадратическая погрешность результата измерения.

Примечание. Величина доверительной вероятности $P = 0,96$.

Таблица 2.2 – Значения коэффициента Стьюдента

n/P	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995	0,999
8	1,42	1,9	2,36	3,00	3,5	4,03	5,4
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78

6. Если какой-либо отдельный результат наблюдений в полученном ряде измерений вызывает сомнение, необходимо вычислить величину

$$\tau = \frac{|R_{xi}^* - \bar{R}_x|}{\sigma} ,$$

где R_{xi}^* – проверяемый результат.

Если вычисленные τ окажутся больше $\tau(n, \rho)$, взятого из таблицы 2.3, то члены R_{xi}^* ряда наблюдений необходимо считать промахом и исключить.

Таблица 2.3 – Значения $\tau(n, \rho)$

n/P	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995	0,999
9	2,10	2,246	2,35	2,46	2,53	2,59	2,68
10	2,15	2,29	2,41	2,54	2,62	2,62	2,79

6. Результат измерения: $R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$ при $P = \dots$.

7. Суммарная погрешность измерения $\Delta_{lim} = \pm 3\sigma$.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение фотоэлектрических преобразователей модели ПФС.
2. Устройство, принцип действия фотоэлектрических преобразователей модели ПФС.
3. Достоинства фотоэлектрических преобразователей
4. Основные узлы КИС, их назначение, особенности конструкции.
5. Как осуществляется точная настройка КИС.
6. Как осуществляется грубая настройка КИС.
7. Назначение параметра S и способ его определения.
8. Для чего определяют границы доверительного интервала.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КИС С ЕМКОСТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки;
- определение метрологических характеристик КИС;
- исследование погрешностей измерений.

1. Общие сведения

Одним из главных узлов данной КИС является емкостной преобразователь.

Принцип действия емкостного преобразователя основан на том, что с изменением размера контролируемой детали изменяется емкость конденсатора, являющаяся чувствительным элементом (рис. 3.1).

Емкость плоского конденсатора выражается формулой

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon \cdot S}{\delta}, \quad (1)$$

где ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды между пластинами (обкладками);

ε_0 – электрическая постоянная, равная $0,885 \cdot 10^{-11}$ Ф/м;

S – площадь поверхностей пластин;

δ – расстояние между пластинами.

Из выражения (1) видно, что изменение емкости конденсаторов может происходить при изменении площади обкладок S (рис.3.1, б), расстояния между обкладками δ (рис. 3.1, а) и величины относительной диэлектрической проницаемости среды ε между обкладками либо при одновременном изменении перечисленных величин.

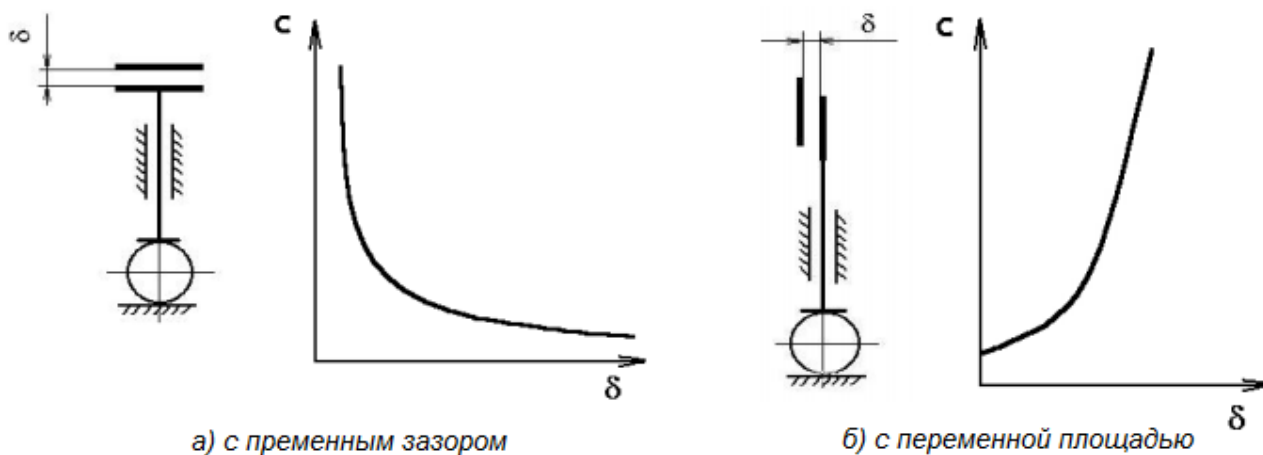


Рисунок 3.1 – Схемы емкостных преобразователей

В емкостном преобразователе фирмы «Марпосс» изменение емкости происходит за счет изменения зазора между пластинами.

На рис. 3.2 показана измерительная скоба с емкостным преобразователем, пластины 1 и 2 которого подвешены на 2-х внутренних плоских пружинах 5 и двух наружных пластинах 7, образующих пружинные параллелограммы. Через каретки 6 и пружинные крестообразные шарниры 4 и 8 пластины 1 и 2 преобразователя связаны с измерительными губками 17 и 20, несущими измерительные наконечники 18 и 19, непосредственно контактирующие с контролируемой деталью.

Для установки измерительных наконечников скобы на требуемый размер служат микрометрические винты 16 и 21. При помощи этих винтов также производится настройка измерительных наконечников на одинаковое измерительное усилие.

Для установки указателя отсчетного устройства на нулевое показание по шкале служит винт 11, на конце которого закреплен конусный наконечник 15, который при своем перемещении, через изогнутую пружину 9 воздействует на пластину 1 емкостного преобразователя и тем самым изменяет ее положение относительно пластины 2. Одновременно с этим, через рычаги 10 и 14, наконечник 15 изменяет положение кареток 6, несущих измерительные наконечники 18 и 19. Измерительное усилие в скобе создается пружиной 12.

Отсчетно-командное устройство имеет на передней панели два тумблера: один для включения подачи напряжения на прибор и второй для переключения с режима настройки на автоматический режим работы. Кроме того, на передней панели имеется еще 4 настроечные ручки, связанных с настроечными потенциометрами.

Левая ручка служит для настройки автоматического переключения на режим черновой обработки, средняя ручка – для автоматического переключения на режим чистовой обработки и крайняя правая – для выдачи окончательной команды на прекращение процесса обработки. Около каждой ручки имеются сигнальные лампы красного цвета. В правом верхнем углу имеется ручка для окончательной установки указателя шкалы на нуль при настройке отсчетного устройства.

К *достоинствам* емкостных преобразователей относятся очень малая нелинейность выходной характеристики (всего 10 - 4 %) и малый предел допускаемой погрешности (от 0,3 до 2 мкм).

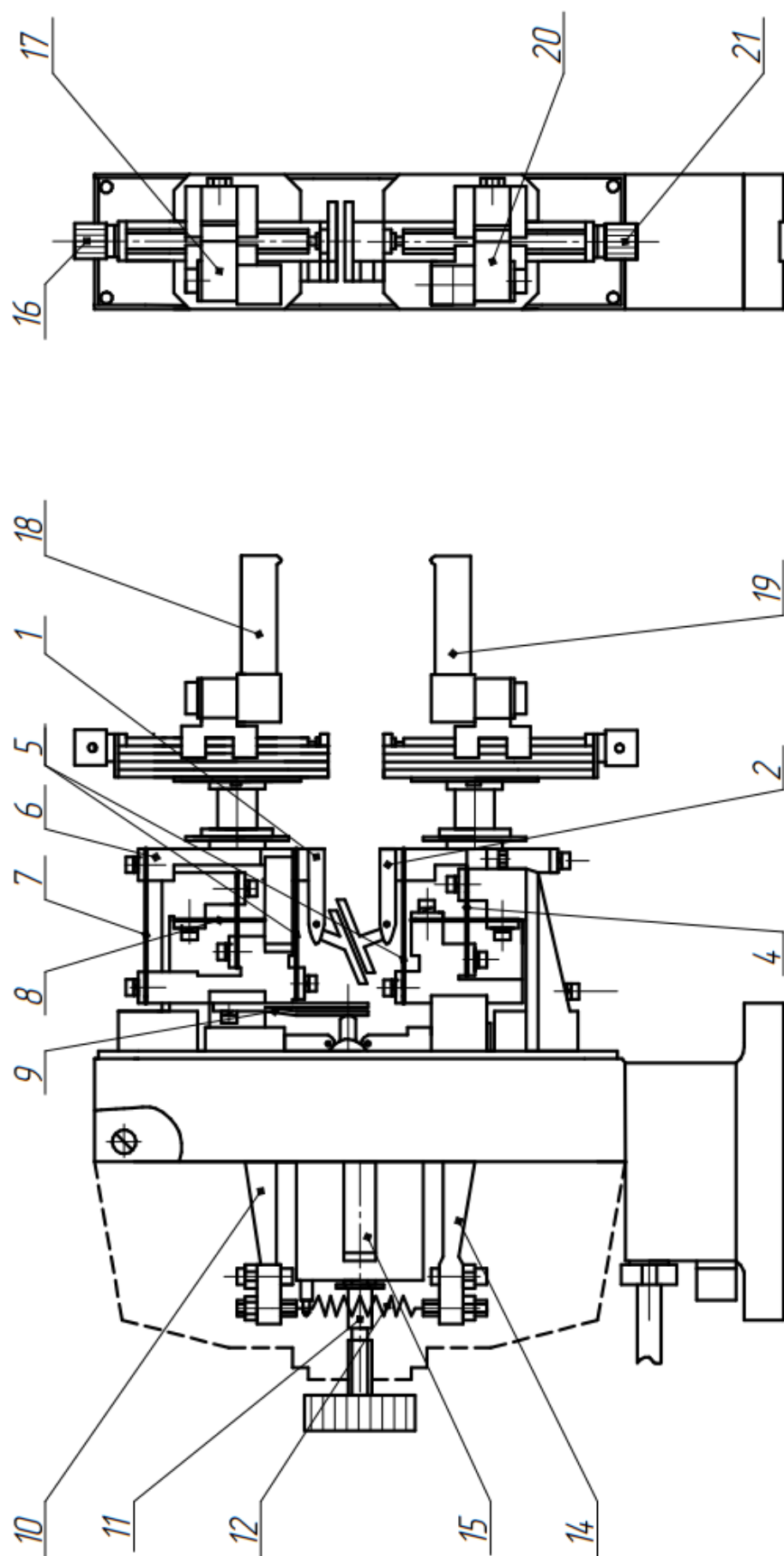


Рисунок 3.2 – Измерительная скоба с емкостным преобразователем

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка состоит из трех основных узлов: универсальной стойки **1** с вертикальным оптиметром **2**, емкостного преобразователя **3** и отсчетно-командного устройства **4** фирмы «Марпоссе» (рис. 3.3).

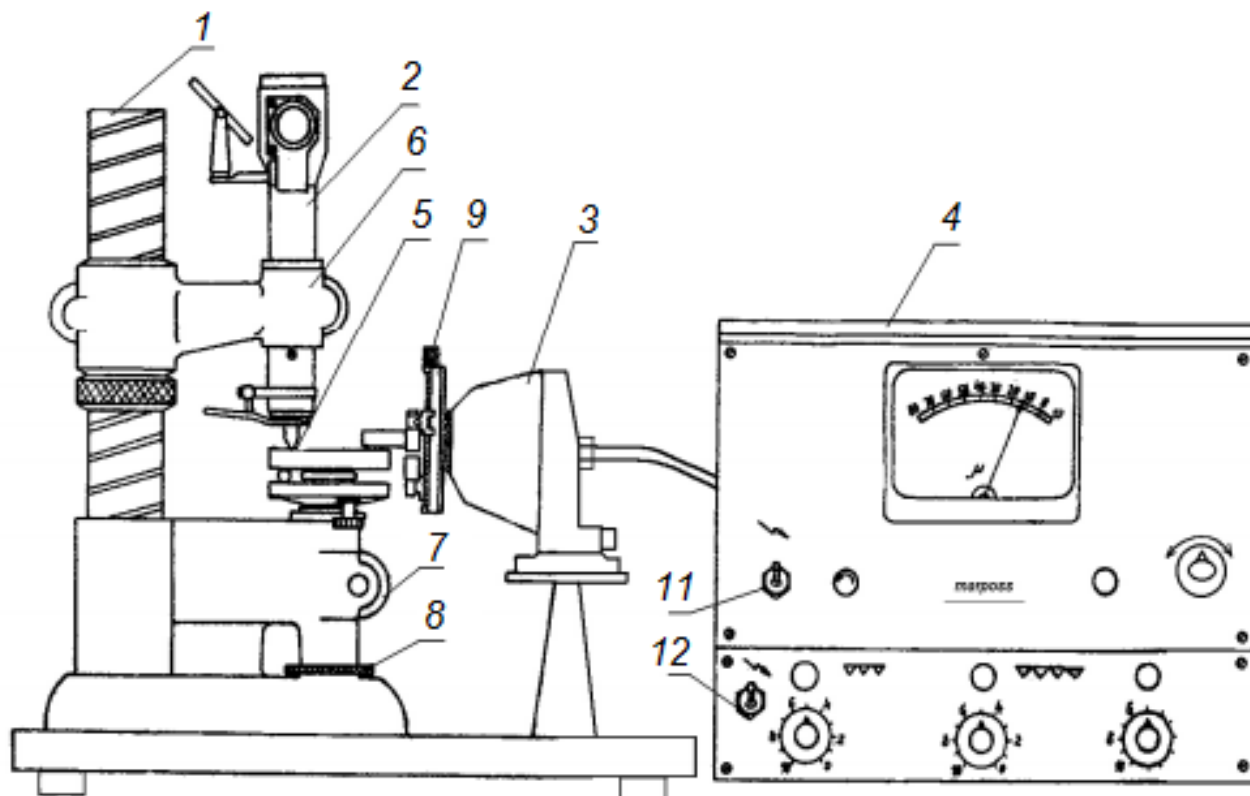


Рисунок 3.3 – Контрольно-измерительная станция
с емкостным преобразователем

Подготовка к работе отсчетно-командного устройства измерительной скобы с емкостным преобразователем.

Подготовка должна начинаться с тщательного осмотра всей измерительной системы на отсутствие механических повреждений, обрыва электропроводов и других неисправностей.

Измерительная скоба с емкостным преобразователем должна быть установлена на специальной подставке, которая, в свою очередь, должна быть закреплена на металлической плите.

С отсчетно-командным устройством емкостной преобразователь должен быть соединен при помощи электрического провода.

Проведение измерений должно проводиться не ранее чем через 20 - 30 мин после включения системы в электрическую сеть напряжением 220 В.

Перед началом исследований стрелка отсчетного устройства и указатель трубки оптиметра должны быть установлены в нулевое положение.

Для этого необходимо произвести следующее:

Опустить столик унифицированной стойки **1** в крайнее нижнее положение. После этого опустить трубку оптиметра **2** в свою кронштейне **6** до положения, когда между поверхностями его измерительного наконечника и столика **5** останется видимый зазор около 0,5 мм. В таком состоянии трубка **1** должна быть окончательно закреплена. Затем столик **5** поднимается вверх гайкой **8** микроподачи до того момента, пока указатель трубки оптиметра не окажется около нуля.

Для установки указателя шкалы отсчетного устройства **4** на нуль необходимо при помощи винта **9** ввести измерительную губку **10** в контакт с измерительным столиком **5** стойки **1**.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Осмотреть систему и преобразователь, убедиться в отсутствии механических повреждений.

2. Подключить преобразователь к соответствующему разъему отсчетного устройства на его задней стенке.

3. Подключить напряжение питания 220 В и оставить систему во включенном состоянии до начала работы в течение 20 мин.

4. При помощи настроечного микровинта емкостного преобразователя и правой рукоятки на передней панели отсчетного устройства **4** установить указатель на нулевое деление шкалы.

5. При помощи микрометрического винта **8** столика **5** унифицированной стойки **1** откорректировать положение указателя трубки оптиметра на нулевое деление шкалы.

6. Вращая гайку **8**, переместить столик **5** до момента, пока указатель отсчетного устройства **4** не переместится на 2 деления шкалы.

7. Снять по шкале вертикального оптиметра фактическую величину перемещения столика **5**.

8. Выполнить аналогичные исследования на всем диапазоне шкалы отсчетного устройства **4**.

9. Занести результаты измерений в табл. 3.1.

10. Выполнить эскизы крепления отдельных узлов и блоков КИС (по указанию преподавателя) емкостного преобразователя **4**.

11. Определить степень нелинейности отсчетно-командного устройства.

12. Построить график нелинейности емкостного преобразователя и отсчетно-командного устройства.

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Результаты экспериментальных исследований занести в табл. 3.1.

2. Для построения графика нелинейности емкостного преобразователя и отсчетно-командного устройства необходимо по оси абсцисс отложить через 2 мкм перемещения измерительного наконечника трубки оптиметра **2** – S_2 , а по оси ординат – величину перемещения указателя по шкале отсчетно-командного

устройства 4 – S_1 . Соединив полученные на всем диапазоне измерения точки, получим ломанную линию.

Величина нелинейности характеристики преобразователя определяется как разность между этой линией и прямой, проведенной через начало координат под углом 45° .

Таблица 3.1 – Результаты экспериментальных исследований

№	Перемещение указателя по шкале		Разность показаний $\Delta = S_1 - S_2$, мкм	Нелинейность емкостного преобразователя и отсчетного устройства, $\Delta / L \cdot 100\%$
	отсчетного командного устройства, S_1 , мкм	трубки оптиметра, S_2 , мкм		
1				
2				
...				
25				

3. Полученная таким образом разность ординат, отнесенная к диапазону измерения L и умноженная на 100 %, дает в процентах величину нелинейности характеристики емкостного преобразователя и отсчетного командного устройства фирмы «Марпосс».

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение, устройство, принцип действия емкостных преобразователей.
2. Достоинства емкостных преобразователей.
3. Как рассчитать емкость плоского конденсатора.
4. Способы изменения емкости конденсаторов.
5. Основные узлы КИС, назначение, конструктивные особенности.
6. Методика экспериментального определения нелинейности преобразователя и отсчетного устройства.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КИС С ИНДУКТИВНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки;
- определение метрологических характеристик КИС;
- исследование погрешностей измерений.

1. Общие сведения

В конструкциях КИС очень широко распространены индуктивные преобразователи.

В индуктивных преобразователях используется свойство катушки изменять свое реактивное сопротивление при изменении некоторых ее параметров, определяющих величину индуктивности L .

Для получения возможно большей индуктивности катушка, как правило, выполняется с магнитопроводом из ферромагнитного материала. Один из элементов магнитопровода выполняется подвижным (якорь), его положение, относительно неподвижной части магнитопровода, будет определять величину изменения магнитного сопротивления цепи, а, следовательно, и индуктивность катушки.

Таким образом, если связать перемещение якоря с измеряемой величиной δ при $U = \text{const}$, то возникает функциональная зависимость между δ и электрическим параметром L :

$$L = f(\delta).$$

Устройство, которое преобразует линейные перемещения в электрический параметр с помощью вышеописанной катушки, называется индуктивным преобразователем.

Выражение для определения индуктивности катушки преобразователя имеет вид

$$L = \frac{4\pi w^2}{\frac{\delta_0}{\mu_0 S_0} + \frac{\delta_1}{\mu_1 S_1}},$$

где w – число витков катушки;

δ_0, S_0 – длина и площадь воздушного зазора между якорем и неподвижной частью магнитопровода;

δ_1, S_1 – длина и площадь сечения магнитопровода;

μ_0, μ_1 – магнитная проницаемость воздуха и магнитопровода соответственно.

В применяемых в настоящее время индуктивных преобразователях для линейных измерений изменение индуктивности достигается посредством изменения величины δ_0 или площади S_0 .

Известны следующие возможные схемы индуктивных преобразователей:

- дифференциальный преобразователь с переменным зазором;
- дифференциальный преобразователь с переменной площадью;
- соленоидный преобразователь;
- трансформаторный преобразователь;
- дифференциальный трансформаторный преобразователь.

Наибольшее распространение в приборах активного контроля получили дифференциальные соленоидные преобразователи. Они представляют собой катушку, внутри которой помещен ферромагнитный сердечник (якорь). При вхождении якоря внутрь катушки индуктивность последней изменяется приблизительно пропорционально введенной в катушку массе якоря:

$$L = \frac{w^2}{\ell_k} \cdot \mu \cdot q \cdot \ell,$$

где w , ℓ_k , q – число витков, длина и поперечное сечение катушки;

ℓ – величина вхождения якоря;

μ – магнитная проницаемость материала якоря.

Характеристика соленоидного преобразователя линейна, но в значительной степени зависит от качества намотки катушки. Индуктивный преобразователь БВ-6067 представляет собой преобразователь соленоидного типа с разомкнутой магнитной цепью.

На рис. 4.1, а, б представлены конструкция и схема такого преобразователя.

Его работа основана на принципе изменения площади сечения магнитопровода при смещении измерительного стержня. За счет этого изменяется индуктивное сопротивление катушек преобразователя и их выходное напряжение. Сигналы преобразователя, амплитуда которых пропорциональна контролируемому размеру, преобразуются электронным блоком в сигнал, по величине изменения которого определяют изменение размера контролируемой детали. Конструктивно преобразователь выполнен в виде цилиндра 1. Внутри цилиндра 1 под защитным кожухом 2, изготовленным из латуни, расположены две катушки 3. Магнитопровод 4 изготавливается из стали марки Э12. Измерительный стержень 5, несущий измерительный наконечник 6, перемещается на двух дисковых плоских пружинах 7, имеющих концентрические круговые прорезы, что обеспечивает плавное перемещение измерительного стержня без трения и люфтов. Измерительный стержень 5 – сборный, его верхняя часть, являющаяся сердечником (якорем), изготавливается из феррита, а остальная часть – из латуни. Измерительное усилие создается пружиной 8. Провода из преобразователя выводятся экранированным кабелем.

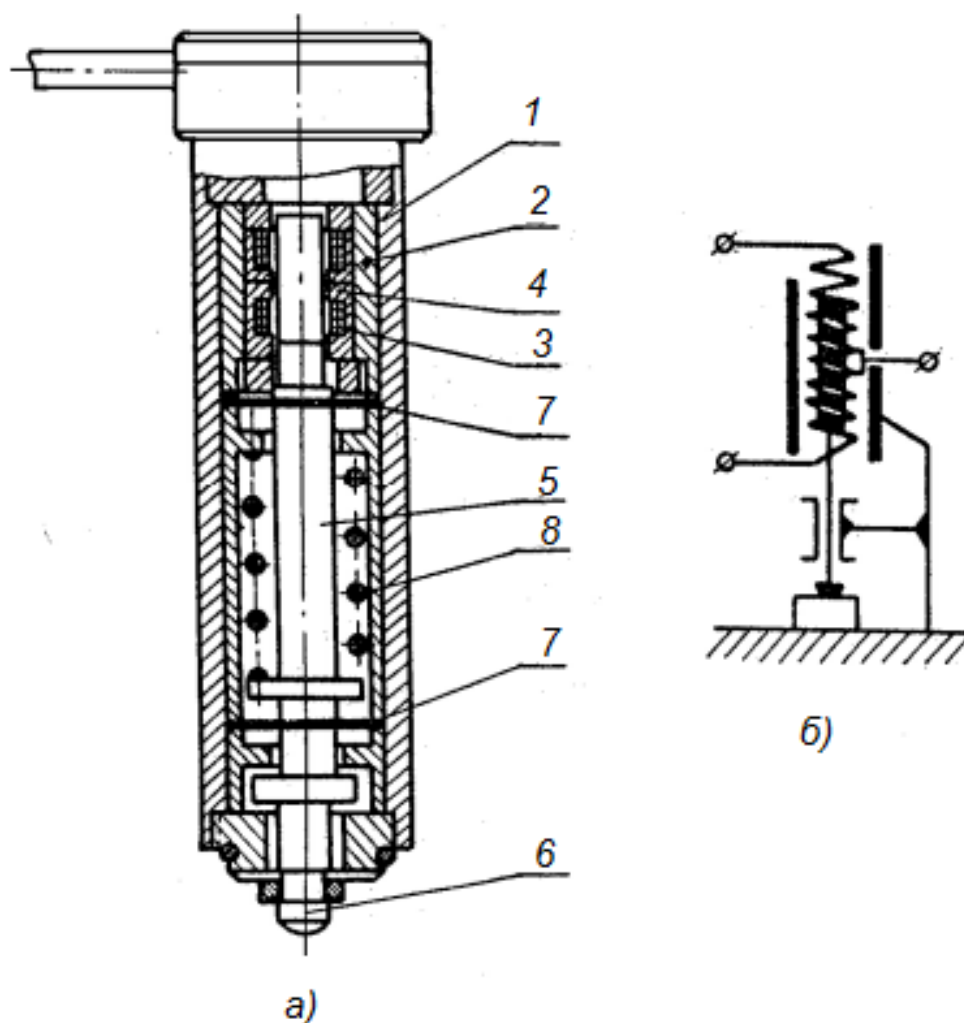


Рисунок 4.1 – Индуктивный преобразователь соленоидного типа

В существующих приборах индуктивные преобразователи позволяют получить цену деления $0,05 \dots 1$ мкм и пределы измерения от $\pm 0,003$ мм до 1,5 мм.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 4.2) состоит из трех основных узлов: индуктивного преобразователя 1, электронного блока 2 и унифицированной стойки 6.

Индуктивный преобразователь соединен с электронным блоком 2 кабелем 7. На передней панели электронного блока 2 расположены: клавиша «ВКЛ» с сигнальной лампой 5; ручка 3 электрической установки нуля; отверстие 4 для корректировки нулевого положения указателя прибора и клавиши переключения цены деления. На задней панели расположены гнезда для подключения преобразователя, кабель питания прибора, клемма заземления и предохранитель.

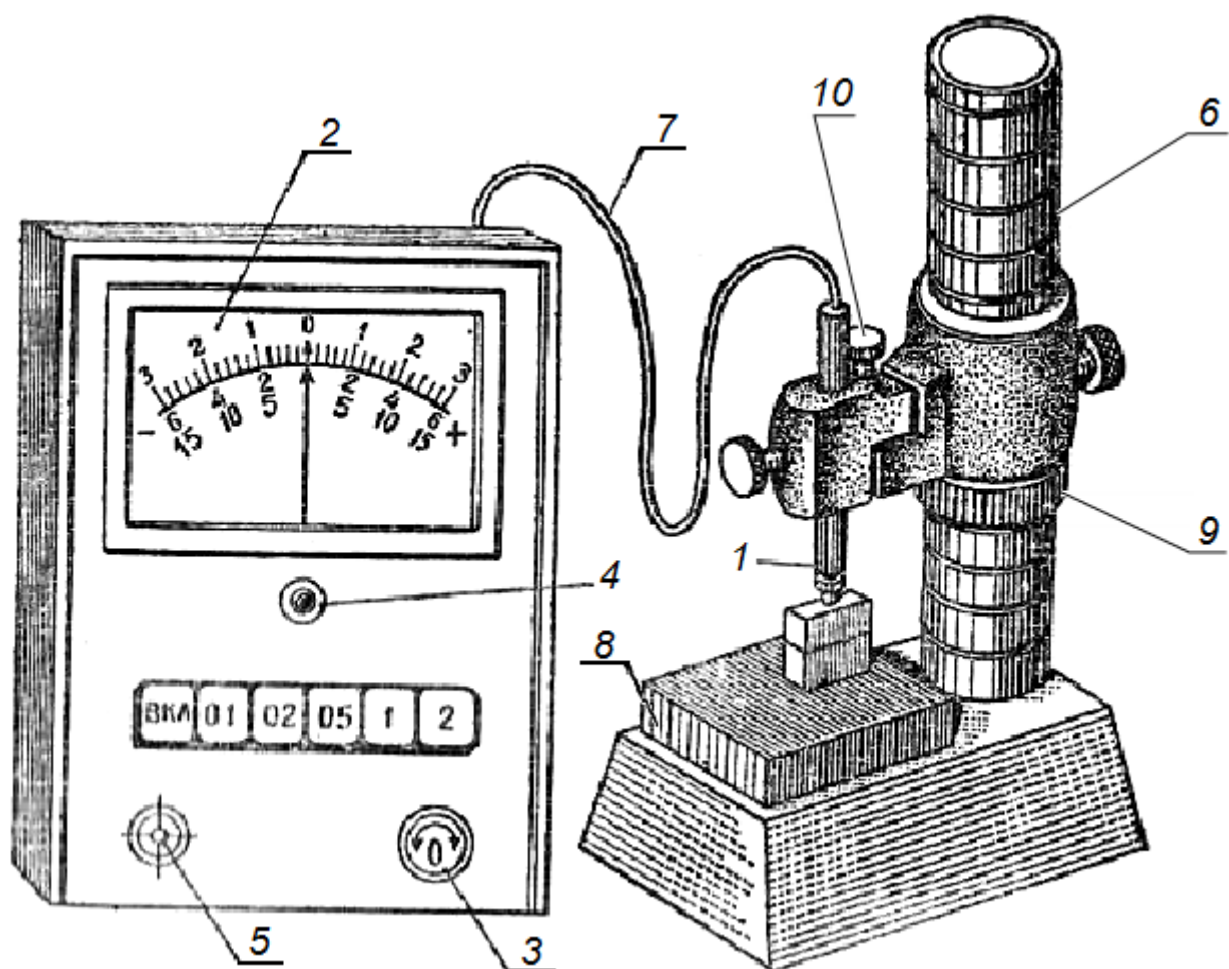


Рисунок 4.2 – Контрольно-измерительная станция с индуктивным преобразователем

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Перед началом работы с КИС необходимо изучить данные методические указания, ознакомиться с назначением составных частей КИС, способами их компоновки.

2. Установить в универсальной стойке 6 индуктивный преобразователь 1.

3. Установить на столик 8 образцовую деталь или блок концевых мер необходимого размера.

4. Подвести к образцовой детали или блоку концевых мер измерительный наконечник преобразователя 1 и настроить электронный блок 2 на нуль с помощью грубой (гайка 9) и точной (микровинтом 10) настройки преобразователя.

5. Арретируя измерительный наконечник преобразователя 1, убрать образцовую деталь (блок концевых мер) с позиции измерения и установить на его место объект контроля.

6. Произвести измерения.

7. Снять отчеты со шкалы электронного блока.

8. Результаты измерений занести в табл. 4.1.

9. Произвести обработку результатов измерений.
10. Представить результаты измерений с учетом доверительного интервала при заданной преподавателем вероятности P .
11. Определить предельную погрешность измерения.
12. Выполнить эскизы крепления некоторых узлов и блоков КИС (по указанию преподавателя).

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Снять отчеты со шкалы электронного блока 2, результаты измерений занести в табл. 4.1.

Таблица 4.1 – Результаты исследований

№	Показание прибора	Действительное значение R_{xi}	Среднее значение $\bar{R}_x$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x
1							
2							
...							
25							

2. Найти текущее действительное значение.
3. Найти среднее арифметическое результатов измерений по формуле

$$\bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} ,$$

где n – число наблюдений.

Значение $\bar{R}_x$ определяет эмпирический центр группирования случайной величины R_{xi} .

4. Найти эмпирическое среднее квадратическое отклонение, которое определяет рассеяние значений случайных величин в выборке относительно эмпирического центра группирования, по формуле

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2}{n-1}} .$$

Чем меньше значение S , тем выше точность измерений, т.е. меньше случайные погрешности измерений.

5. Определить границы доверительного интервала, внутри которых с заданной вероятностью $P = 0,95$ будет находиться действительное значение измеряемой величины, по формуле

$$\Delta R_x = \pm t \cdot S ,$$

где t – коэффициент Стьюдента (табл. 1.2);

S – средняя квадратическая погрешность результата измерения.

6. Результат измерения: $R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$ при $P = \dots$.

7. Суммарная погрешность измерения $\Delta_{lim} = \pm 3\sigma$, $\sigma \approx S$.

Данная погрешность не должна превышать 0,5 цены деления.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение индуктивных преобразователей.
2. Устройство и принцип действия индуктивных преобразователей.
3. Какова взаимосвязь перемещения якоря с измеряемой величиной?
4. Как определить индуктивности катушки?
5. Какие схемы индуктивных преобразователей вы знаете?
6. Какие преобразователи получили наибольшее распространение?
7. Основные узлы КИС, их назначение, особенности конструкции.
8. Способ настройки КИС.
9. Определение погрешности измерения.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 5.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КИС С ЭЛЕКТРОКОНТАКТНЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки;
- определение метрологических характеристик КИС;
- исследование погрешностей измерений.

1. Общие сведения

В существующих контрольных автоматах и многомерных приспособлениях не менее 70 – 80 % составляют устройства, в которых контролирующими элементами являются электроконтактные преобразователи.

Такое их широкое применение объясняется конструктивной и эксплуатационной простотой, которая обеспечивает получение относительно высоких точностей, во многих случаях, удовлетворяющих требованиям машиностроения.

Электроконтактный преобразователь представляет собой механизм, состоящий из двух или более регулируемых при настройке и неподвижных при работе контактов, включенных в электрическую цепь со светосигнальным и исполнительным устройством, и устройства, передающего перемещение измерительного наконечника от контролируемой детали до подвижного контакта.

Электроконтактные преобразователи подразделяют на две группы:

- преобразователи размеров, или как их часто называют, «предельные» электроконтактные преобразователи, с помощью которых определяют нахождение контролируемого размера в пределах установленных границ поля допуска;
- преобразователи колебания размеров, или как их часто называют, «амплитудные», с помощью которых определяют колебание размеров в заданных пределах.

Назначение электроконтактного преобразователя заключается в том, что если величина или колебание величины контролируемого параметра выходит за пределы заданного, то электрический контакт преобразователя замыкает определенную схему и включает светосигнальный или исполнительный механизм.

Имеются преобразователи без отсчетного устройства и с отсчетным устройством, которыми обычно являются индикаторы часового типа, рычажно-зубчатые головки или малогабаритные пружинные головки.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторная установка (рис. 5.1) состоит из следующих основных узлов: стойки [11](#) с кронштейном [12](#), на которых закреплен электроконтактный преоб-

разователь модели 228 с регулировочными микровинтами 3 и 5 и отсчетным устройством 7; кронштейна 13, установленного на основании 14, в котором жестко зафиксирован корпус микровинтовой подачи 15, а также корпуса светосигнального устройства 16.

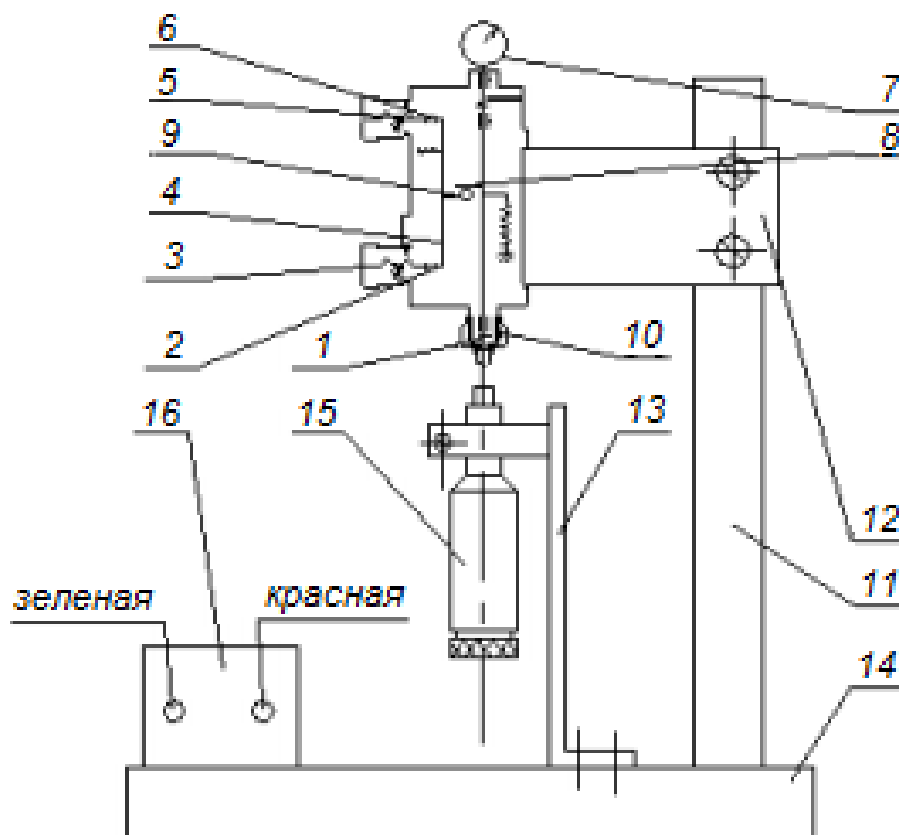


Рисунок 5.1 – Контрольно-измерительная станция с электроконтактным преобразователем

В схеме двухконтактного преобразователя мод. 228 имеется передаточный механизм в виде двуплечего рычага. Измерительный стержень 1 несет упор 8, который контактирует со штифтом 9, находящимся на рычаге 4 с подвижными контактами 2 и 6. Штифт 9 смещен от оси закрепления рычага на 5, 8 мм и образует малое плечо рычажной передачи. Размер большого плеча от оси поворота рычага до подвижных контактов составляет 29 мм. Верхний 5 и нижний 3 неподвижные контакты являются регулируемыми. При установке стрелочного отсчетного устройства 7 его измерительный наконечник упирается в верхний торец измерительного стержня.

Преобразователи настраивают на размер по образцовым деталям с размерами, соответствующими предельными размерами контролируемых деталей. Погрешность настройки при расходе настроенного винта до 0,06 мм будет составлять 0,1...0,5 мкм, при расходе до 0,1 мм – 0,7...0,8 мкм и при расходе до 0,2 мм – 2...5 мкм.

Однако в большинстве случаев при использовании отсчетной головки настройку можно осуществлять с помощью образцовой детали.

При настройке размер этой детали не обязательно должен соответствовать одному из предельных размеров контролируемых деталей – достаточно, чтобы он находился в пределах допуска. Настроечная деталь нужна только для определения положения преобразователя на измерительной позиции, а настройка на верхнее и нижнее отклонения осуществляется с помощью настроечных винтов и гайки микрометрической подачи.

После установки преобразователя на измерительной станции под измерительные наконечники подводят образцовую деталь и по отсчетному устройству определяют его показания. Преобразователь закрепляют при этом в таком положении, чтобы при нахождении наконечника на детали и перемещении измерительного стержня в пределах допуска рычаг сильно не перекашивался. Наиболее правильное положение будет в том случае, если при среднем размере контролируемой детали подвижные контакты 6 и 2 будут находиться приблизительно на одном расстоянии от оси измерительного стержня. Затем гайкой 10 измерительный стержень перемещают на величину, равную разности предельного размера контролируемой детали и образцовой аттестованной детали. После этого настроечным винтом подводят регулируемый контакт до соприкосновения с соответствующим контактом на подвижном рычаге. После окончания настройки гайку микроподачи необходимо отвинтить, чтобы дать возможность измерительному стержню перемещаться за пределы контролируемого допуска.

Настройку можно также осуществить, используя более точное отсчетное устройство. В частности, преобразователь можно установить на универсальной вертикальной стойке параллельно трубке оптиметра; одновременно задавая столон перемещения измерительным наконечникам преобразователя и оптиметра, произвести настройку контактов. Но и в этом случае необходимо иметь аттестованную образцовую деталь.

При опускании измерительного стержня 1 опора 8, выполненная из твердого сплава в форме ножа, воздействует на корундовый штифт 9, заставляя его поворачиваться на крестообразном шарнире. Если размер контролируемой детали оказался меньше допустимого, то при повороте рычага 4 нижний контакт 2 замыкается с нижним регулируемым контактом 3. Если размер детали оказался больше допустимого, то при перемещении измерительного стержня 1 его наконечник достигает детали раньше, чем опора 8 войдет в контакт со штифтом 9. Если размеры контролируемой детали находятся в пределах поля допуска, то при опускании измерительного стержня верхние контакты разомкнутся, а нижние – замкнутся.

Технические характеристики преобразователя:

- предел измерения – 0...1 мм;
- наибольший ход шпинделя – 3 мм;
- цена деления барабана настроечного винта – 0,002 мм;
- погрешность срабатывания – $\pm 0,001$ мм;
- смещение настройки после 25000 циклов – $\pm 0,001$ мм;
- измерительное усилие с отсчетным устройством – 500 Гс;

- измерительное усилие без отсчетного устройства – 100...300 Гс;
- напряжение, подаваемое на контакты – 12 В;
- ток через контакты – 0,1...0,2 мА.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Произвести настройку электроконтактного преобразователя при помощи микрометрической подачи 15. Для этого привести в контакт измерительный наконечник преобразователя с рабочей поверхностью микроподачи.

2. При помощи винта микрометрической подачи перемещать стержень 1 измерительного преобразователя до тех пор, пока по шкале отсчетного устройства 7 не будет получен отсчет “-10 мкм”.

3. При помощи регулировочного винта 3 отвести нижний контакт преобразователя до тех пор, пока не погаснет красная лампочка светосигнального устройства 16.

4. Затем переместить стержень 1 измерительного преобразователя при помощи винта микрометрической подачи до появления на шкале отсчетного устройства 7 отсчета “+10 мкм”.

5. После этого повернуть верхний регулировочный винт 5 преобразователя до момента загорания зеленой лампочки светосигнального устройства 16.

6. После настройки посредством винта микрометрической подачи 15 опустить стержень 1 преобразователя в положение, при котором горит красная лампочка (нижний контакт замкнут).

7. Перемещая винт микроподачи 15 вверх до положения, при котором погаснет красная лампочка (нижний контакт 3 разомкнут), отсчитать, с учетом знака, показание по шкале отсчетного устройства 7, соответствующее этому положению.

8. Продолжить подъем стержня 1 преобразователя до момента загорания зеленой лампочки (верхний контакт замкнут) и снять отсчет показания по шкале отсчетного устройства.

9. Размыкание и замыкание контактов преобразователя следует производить не менее 30 раз, не меняя настройки регулировочных винтов преобразователя.

10. Результаты измерений занести в табл. 5.1.

11. Произвести обработку результатов измерений.

12. Дать заключение о годности преобразователя для использования его в КИС.

13. Выполнить эскизы отдельных узлов и блоков КИС (по указанию преподавателя).

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Результаты измерений заносятся в табл. 5.1.

Таблица 5.1 – Результаты исследований

№	Зеленая лампочка (нижний контакт преобразователя)						Красная лампочка (верхний контакт преобразователя)					
	R_{xi}	$\bar{R}_x$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x	R_{xi}	$\bar{R}_x$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x
1												
2												
3												
...												
30												

2. Определить для каждого контакта среднее арифметическое результатов измерений (математическое ожидание) по формуле

$$\bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} ,$$

где n – число наблюдений.

Значение $\bar{R}_x$ определяет эмпирический центр группирования случайной величины R_{xi} .

3. Найти для каждого контакта среднеквадратическую погрешность срабатывания преобразователя:

$$S \approx \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2}{n-1}} .$$

Чем меньше значение S , тем выше точность измерений, т.е. меньше случайные погрешности измерений.

4. Определить границы доверительного интервала, внутри которых с заданной вероятностью $P=0,95$ будет находиться действительное значение измеряемой величины, по формуле

$$\Delta R_x = \pm t \cdot S ,$$

где t – коэффициент Стьюдента (табл. 1.2);

S – средняя квадратическая погрешность результата измерения.

5. Результат измерения: $R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$ при $P = \dots$.

6. Определить предельную погрешность срабатывания преобразователя:

$$\Delta lim'_1 = +3\sigma_1$$

$$\Delta lim'_2 = +3\sigma_2$$

$$\Delta lim''_1 = -3\sigma_1$$

$$\Delta lim''_2 = -3\sigma_2$$

7. Дать заключение о годности преобразователя для использования его в КИС при условии, что предельная погрешность срабатывания не должна превышать $\pm 0,001$ мм.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение электроконтактных преобразователей в КИС.
2. Достоинства электроконтактных преобразователей.
3. Устройство и принцип действия двухконтактного преобразователя мод. 228.
4. Основные узлы КИС с электроконтактным преобразователем.
5. Методика определения погрешности срабатывания преобразователя.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 6.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КИС С МЕХАНОТРОННЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки;
- определение метрологических характеристик КИС и нелинейности статической характеристики механотронного преобразователя 6МХИС в пределах диапазона измерения;
- исследование нелинейности характеристики на различных участках шкалы и допустимой при этом погрешности измерений.

1. Общие сведения

В конструкциях КИС также находят применение механотронные преобразователи или механотроны.

Механотроны представляют собой электровакуумные приборы с механическими управляемыми электродами. Под воздействием внешнего механического сигнала в механотроне происходит перемещение одного или нескольких подвижных электродов, что вызывает соответствующее изменение анодного тока механотронов. Используя этот эффект, с помощью механотронов удастся преобразовать механические величины в электрические сигналы.

На рис. 6.1 представлена принципиальная схема механотрона с продольным перемещением анода, представляющего собой лампу-диод с подогревным катодом. Расстояние δ между катодом K и анодом A изменяется вследствие изменений контролируемой линейной величины d .

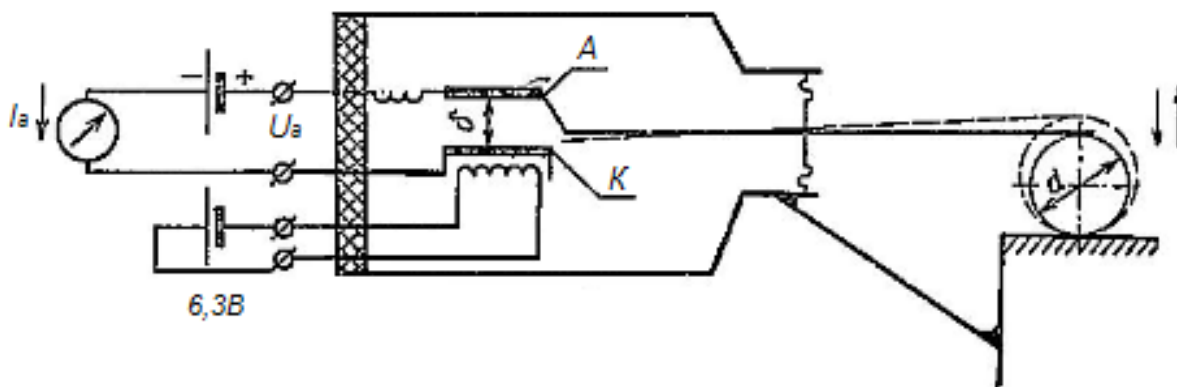


Рисунок 6.1 - Принципиальная механотрона с продольным перемещением анода

Приближенно анодный ток в таком диоде с плоскопараллельными электродами определяется из следующего уравнения:

$$I = \frac{A \cdot S_k \cdot U_a^{\frac{3}{2}}}{\delta^2},$$

где A – постоянный коэффициент $A = 2,33 \cdot 10^{-6}$, имеющий размерность $A \cdot B^{-\frac{3}{2}}$;

S_k – активная поверхность анода, обращенная к катоду, мм^2 ;

U – постоянное напряжение между катодом и анодом, В;

δ – расстояние между катодом и анодом, мм.

Характеристика механотрона с продольным перемещением анода представлена на рис. 6.2.

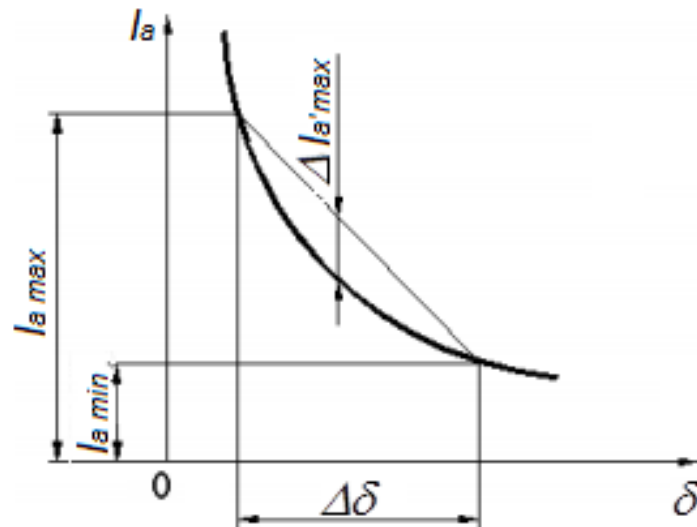


Рисунок 6.2 – Характеристика механотрона с продольным перемещением анода

Для уменьшения влияния на результаты измерений колебаний питающего напряжения U_a , колебаний температуры, а также для повышения чувствительности более широкое распространение в КИС получили двойные диоды и, в частности, двойные диоды типа 6МХ1С. Принципиальная схема такого двойного диода приведена на рис. 6.3.

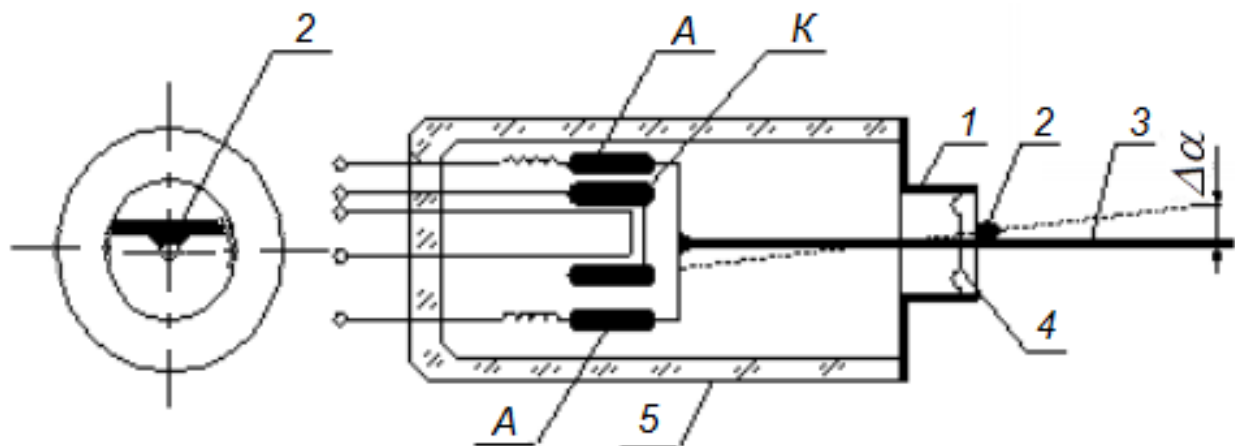


Рисунок 6.3 – Принципиальная схема механотрона типа 6МХ1С (двойной диод)

Измеряемое перемещение Δd воспринимается измерительным рычагом **3**, на котором закреплены оба диода **4**. Расстояние от катода **К** до анодов изменяется с разными знаками, что приводит к соответствующему изменению проводимости обеих половин лампы. Рычаг **3** подвешен к корпусу механотрона с помощью мембраной **4**, герметизирующей внутреннюю полость лампы. Измерительное усилие механотрона создается самой мембраной. Крепление механотрона осуществляется при помощи металлической трубки **1**, охватывающей мембрану.

Механотроны типа 6МХИС имеют следующие технические характеристики:

- номинальное напряжение накала, В 6,3;
- номинальное напряжение анода, В 10;
- диапазон перемещений, мкм ± 100 ;
- измерительное усилие, сН ± 10 ;
- долговечность, часы 1000.

2. Описание лабораторной установки

1. КИС с механотронным преобразователем состоит из следующих основных частей (рис. 6.4): механотронного преобразователя **1**, универсальной стойки **2** с кронштейнами **8** и **9** для установки трубки оптиметра **4** и механотрона **1**, электродного блока **3** с отсчетным устройством, а также столика **7** со стопорным винтом **6**.

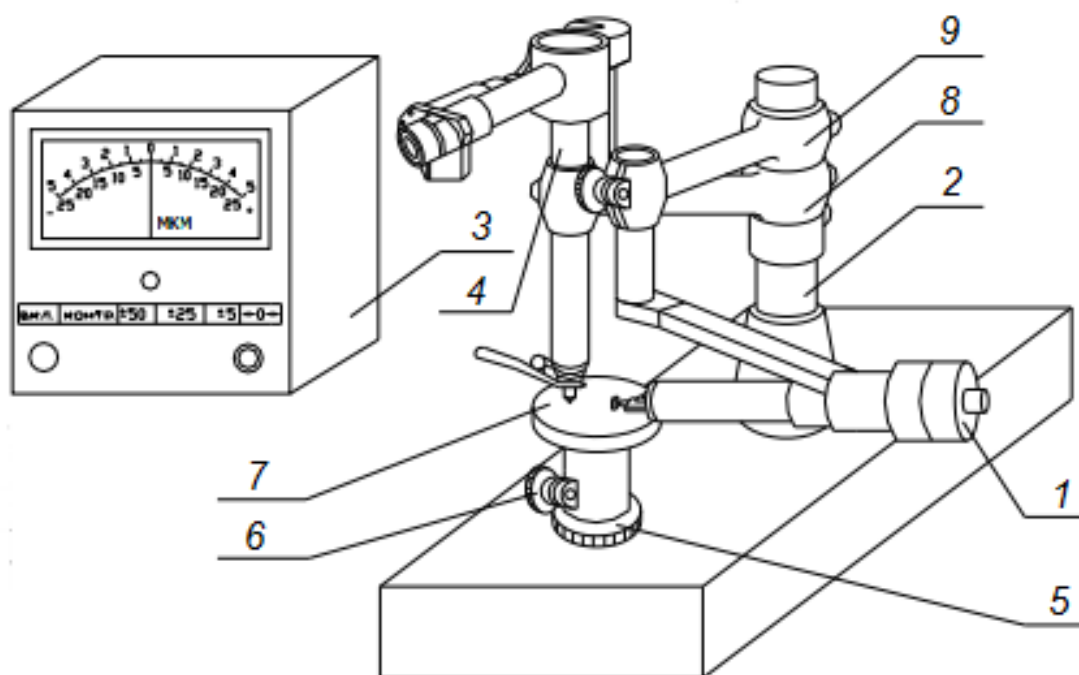


Рисунок 6.4 – Контрольно-измерительная станция с механотронным преобразователем

В зависимости от пределов измерения данная КИС имеет цены делений, указанные в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Характеристики КИС

Пределы измерения, мкм	± 5	± 25	± 50
Цена деления	0,1	0,5	1,0
Основная погрешность системы, не более, в делениях шкалы	1		

КИС предназначена для контроля малых перемещений.

В качестве измерительного преобразователя применяется механотрон типа 6МХИС.

Преобразователь совместно с мостом постоянного тока образует измерительную часть системы, преобразующую механическое перемещение измерительного наконечника механотрона в электрический сигнал, пропорциональный этому перемещению и смещающий стрелку показывающего прибора.

Блок 3 включает в себя отсчетный электроизмерительный прибор, переключатель кнопочный В1-В6, сигнальную лампочку ЛС и некоторое число резисторов. Переключатель имеет 6 кнопок, левая «Вкл.» и правая «←0→» независимые, остальные четыре кнопки - зависимые. При нажатии на кнопку «Вкл.» происходит подключение системы к промышленной сети. Одновременно загорается сигнальная лампочка.

При нажатии кнопки «Контр.» к измерительному мосту взамен механотрона подсоединяются два одинаковых сопротивления.

Нажатие одной из кнопок « ± 50 », « ± 25 », « ± 5 » обеспечивает работу системы с соответствующими пределами измерения.

Кнопка «←0→» служит для подключения специальной приставки, позволяющей дискретно переключать «0» системы.

Для регулировки выходного сигнала в системе предусмотрен потенциометр.

При наладке КИС необходимо помнить, что она питается от сети переменного тока с номинальным напряжением 220 В, которое является опасным для жизни, поэтому работа при снятом кожухе блока 3 не допускается. Для подсоединения земляной шины на задней панели блока 3 предусмотрена специальная клемма. Блок 3 работает только совместно с механотронными преобразователями.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Осмотреть всю измерительную систему на отсутствие механических повреждений, обрыва электропровода или других неисправностей.

2. Установить измерительный преобразователь 1 в специальный кронштейн 9 универсальной стойки 2 и подключить вилку к соответствующему разъему отсчетного устройства 3.

3. После включения системы в электрическую сеть напряжением 220 В, прогреть ее в течение 20 минут.

4. Для установки указателя на нуль повернуть ручку потенциометра, после нажатия на кнопки «Контр.», в соответствующую сторону.

5. Установить параллельно с кронштейном, в котором закреплен механотрон, кронштейн 8 с трубкой оптиметра 4.

6. Установить трубку оптиметра и механотрон таким образом, чтобы их указатели находились против нуля соответствующих шкал.

7. Нажатием кнопки на панели отсчетного устройства 3 выбирается предел измерения по шкале ± 50 мкм. В этом случае цена деления будет равна 1 мкм.

8. При помощи вертикального столика 7 с микрометрическим винтом 5 переместить измерительный стержень трубки оптиметра 4 вверх (или вниз) на 2 мкм. Со шкалы отсчетного устройства 3 снять величину перемещения указателя от нулевого положения.

9. Задавая затем перемещение измерительному стержню трубки оптиметра через 2 мкм до предела $+50$ (и -50) мкм, снять соответствующие показания по шкале отсчетного устройства 3.

10. Измерения произвести на шкалах с пределами ± 25 мкм и ± 5 мкм соответственно с ценой деления шкалы 0,5 и 0,1 мкм.

11. Занести результаты измерений в табл. 6.2

12. Определить степень нелинейности механотронного преобразователя и отсчетно-измерительной системы.

13. Построить графики нелинейности преобразователя и отсчетно-измерительной системы.

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Результаты измерений заносятся в табл. 6.2.

№	Величина перемещения указателя		Разность показаний $\Delta = S_1 - S_2$, мкм	Нелинейность емкостного преобразователя и отсчетно-командного устройства, $\Delta / L \cdot 100\%$
	трубки оптиметра, S_1 , мкм	по шкале отсчетного устройства, S_2 , мкм		
1				
2				
3				
...				

2. Для построения графиков необходимо по оси абсцисс отложить через 2 мкм перемещения измерительного стержня трубки оптиметра 4, а по оси ординат - величины перемещения указателя по шкале отсчетного устройства 3.

3. Для определения величины нелинейности характеристики механотронного преобразователя и отсчетно-измерительной системы провести через нача-

ло координат под углом 45° прямую. Разность ординат этой прямой и кривой, построенной по данным, снятым со шкалы отсчетного устройства 3, отнесенная к пределу измерения L по шкале и умноженная на 100%, будет характеризовать величину нелинейности характеристики механотронного преобразователя и отсчетно-измерительной системы.

4. Нелинейность характеристики увеличивает общую погрешность КИС, поэтому она не должна превышать 1 %. Нелинейность характеристики можно компенсировать соответствующей характеристикой электронной схемы.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение механотронных преобразователей.
2. Устройство и принцип действия механотронов с продольным перемещением анода.
3. Устройство и принцип действия механотрона 6МХИС.
4. Основные узлы КИС, назначение, конструктивные особенности.
5. Методика экспериментального определения нелинейности преобразователя и отсчетно-измерительной системы.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 7. ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТОРЦОВОГО БИЕНИЯ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕГО ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции узлов и блоков стенда и способов их компоновки;
- определение метрологических характеристик стенда;
- исследование нелинейности статической характеристики измерительной цепи с механотронным преобразователем и допустимой при этом погрешности измерений.

1. Общие сведения

Основной составной частью лабораторного стенда является механотронный измерительный преобразователь малых перемещений.

На рис. 7.1 изображена базовая конструкция механотронного преобразователя малых перемещений в электрическую величину.

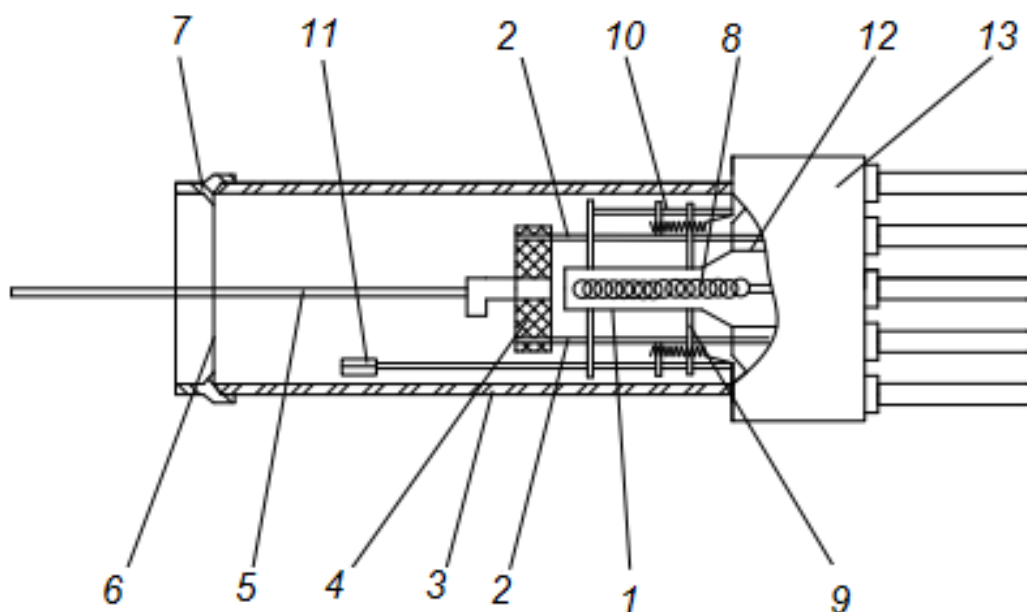


Рисунок 7.1 – Базовая конструкция механотронного преобразователя

Механотронный преобразователь представляет собой сдвоенный вакуумный диод с плоскопараллельной системой электродов.

При работе механотронного преобразователя катод **1** остается неподвижным относительно корпуса. Роль подвижных электродов выполняют аноды **2**.

Благодаря симметричности конструкции механотронного преобразователя легко достигается высокая чувствительность, высокая стабильность показаний и высокая линейность статической характеристики.

Конструктивно приведенный на рис. 7.1 механотронный преобразователь состоит из корпуса **3**, из которого удален воздух; подвижных анодов **2**, механически жестко связанных и электрически изолированных с помощью изолятора

4; к изолятору прикреплен стержень 5, выведенный через мембрану 6 из корпуса. Мембрана соединяется со стеклянным корпусом посредством металлического фланца 7, который предохраняет ее от тепловых и механических повреждений при монтаже и эксплуатации механотронного преобразователя. Оксидный катод 1 косвенного канала (подогреватель 8) является одним для двух анодов. Крепление неподвижных электродов производится при помощи слюдяных дисков 9 и металлических траверс 10. Механотрон снабжен стандартным газопоглотителем 11. Подогреватель 8 катода, как и другие электроды, электрически соединяется с жесткими выводами 12 октального цоколя.

Измеряемое перемещение воздействует на свободный (внешний) конец стержня 5 – штырь механотрона, причем, максимальная чувствительность механотронного преобразователя обеспечивается в том случае, когда направление механического сигнала, приложенное к концу штыря механотрона, перпендикулярно плоскости его электродов.

2. Описание лабораторной установки

Лабораторный стенд с набором необходимых элементов приборов приведен на рис. 7.2.

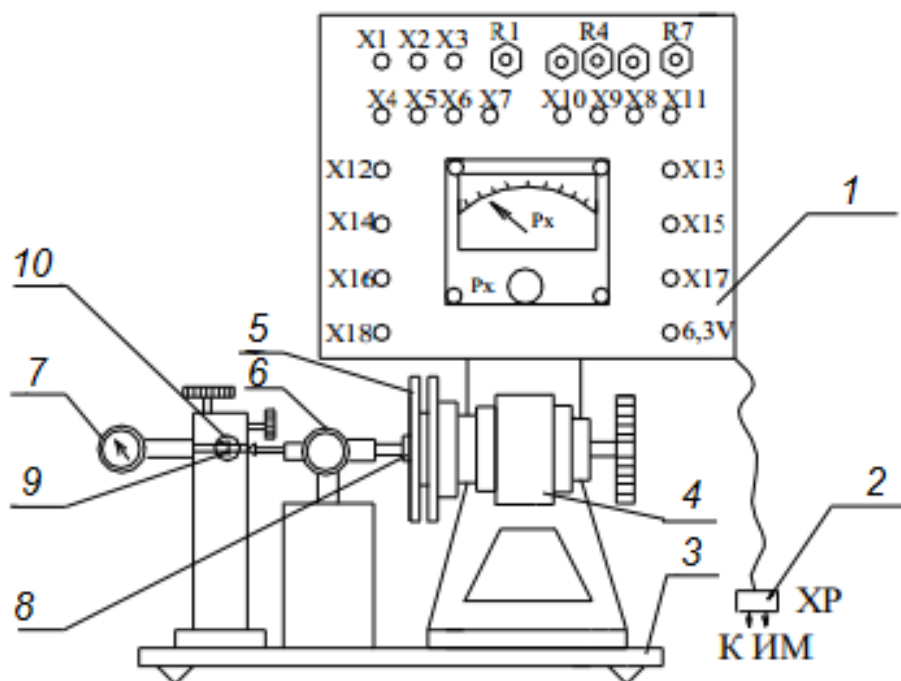


Рисунок 7.2 – Лабораторный стенд для моделирования торцового биения

Питание на лабораторный стенд подается (с разрешения преподавателя) через специальный источник 2 от сети однофазного напряжения 220 В с частотой 50 Гц. На передней панели 1 лабораторного стенда (с лицевой стороны) расположены гнезда для присоединения соответствующих проводников, используемых для сборки схемы измерительных цепей, и показывающий прибор P_x , включаемый в измерительную диагональ моста.

На лабораторном столе располагаются: источник питания 2 ($U_a = 10 \dots 24 \text{ В}$ и $U_n = \sim 6,3 \text{ В}$); миллиамперметр P_A , вольтметр P_U .

В качестве первичного измерительного преобразователя используется двуханодный механотрон типа 6МХ1С (6МХ3С, 6МХ4С).

Схема включения двуханодного механотронного преобразователя представляет измерительный мост (рис. 7.3). Четырехплечий измерительный мост образуется межэлектродными промежутками (диодами) механотрона (рис. 7.1) и сопротивлениями анодных нагрузок R_1 , R_2 и R_3 . В одну из диагоналей моста включен источник анодного питания (U_a) с внутренним сопротивлением R_0 .

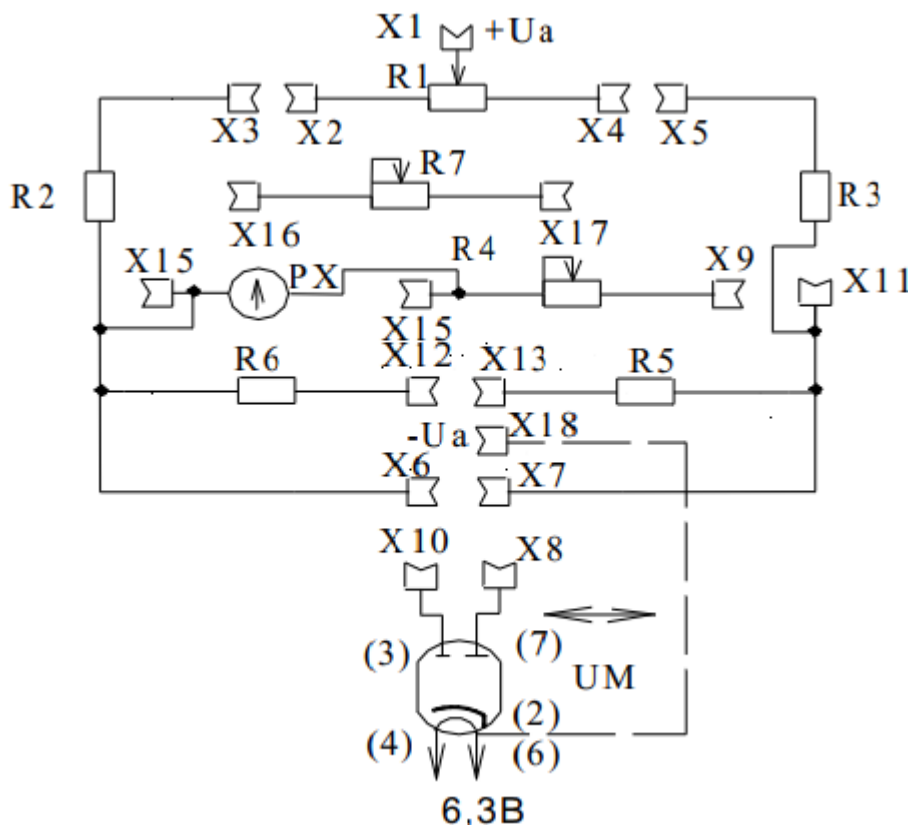


Рисунок 7.3 – Схема включения механотронного преобразователя в цепи измерительного моста

Во вторую, так называемую измерительную диагональ, включен показывающий прибор (P_X) 1 (рис. 7.2), имеющий внутренне сопротивление R_X . На горизонтальной плите 3 лабораторного стенда расположены механизм 4, имитирующий торцовое биение ступицы 5; передаточный механизм 6, со встроенным пружинно-рычажным индикатором 7 с ценой деления 2 мкм, фиксирующим с высокой точностью перемещения измерительного наконечника 8 в горизонтальной плоскости и передающим изменения перемещений, пропорциональных торцовому биению ступицы, чувствительному стержню 9 механотронного преобразователя 10. Механотрон закреплен в горизонтальной плоскости так что, его чувствительный стержень 9 перпендикулярен горизонтальной оси передаточного механизма 6.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Изучить конструкцию, принцип действия отдельных узлов и блоков стенда и способов их компоновки.

2. Выполнить эскизы крепления отдельных узлов и блоков стенда (по указанию преподавателя).

3. Включить (с разрешением преподавателя) в электрическую сеть (~ 200 В, 50 Гц) источник питания, дать возможность прогреться механотронному преобразователю (5-7 минут), сбалансировать измерительный мост с помощью рукоятки механизма 4 (рис. 7.2) и движка резистора $R1$ (рис. 7.3). Когда мост будет сбалансирован, т.е. когда разность потенциалов между гнездами $X11$ - $X15$ будет равна нулю, стрелка показывающего прибора P_X должна установиться посередине шкалы (условно на нулевой отметке).

4. Вращением рукоятки механизма 4 добиться отклонения стрелки P_X вправо на угол, например, « $+\alpha$ », или на n делений шкалы, и влево на угол « $-\alpha$ », или также на n делений.

5. Произвести считывание результатов измерений входной величины $X_{вх}$ (торцового биения) одновременно по двум приборам: P_X – в делениях шкалы и индикатора 7 – в мкм.

6. Занести результаты измерений в табл. 7.1 в прямом и обратном направлении, вращая рукоятку механизма 4 влево или вправо.

7. Произвести измерения значений величин силы электрического тока I_x в цепи показывающего прибора P_X для трех различных значений сопротивлений $R4$: $R4 = 100$ Ом; $R4 = 200$ Ом; $R4 = 500$ Ом; и трех значений U_a ($U_{a1} = 10$ В; $U_{a2} = 12$ В; $U_{a3} = 16$ В).

8. Измерение значений анодных напряжений (U_{a1} и U_{a2}) выполняют переносным вольтметром P_U с пределом измерения ≥ 25 В и высоким внутренним сопротивлением (может быть применен цифровой вольтметр). Включение входных цепей осуществляется к гнездам $X6$ ($X7$) и $X18$ (рис 7.3).

9. Измерение значений электрических токов (I_{a1} и I_{a2}) выполняют переносным миллиамперметром P_I , включая его поочередно в цепи анодных нагрузок механотронного преобразователя – $X6$, $X10$ и $X7$, $X8$ (рис. 7.3).

10. Измерение значений электрического тока I_x в измерительной диагонали моста выполняют микроамперметром P_I с пределами измерений $0 \dots 500 \mu A$, включая его в цепь $X9$, $X11$.

Значение I_x находят для трех положений стрелки P_X («0», « $+\alpha$ », « $-\alpha$ »).

11. По данным табл. 7.1 рассчитать передаточное отношение измерительной цепи с механотронным преобразователем

12. Построить графики статической характеристики измерительной цепи с механотронным преобразователем $I_x = f(X_{вх})$ с их последующей аппроксимацией.

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Результаты измерений заносятся в табл. 7.1.

2. По результатам экспериментальных исследований определить передаточное отношение измерительной цепи с механотронным преобразователем:

$$K = \frac{X_{вых}}{X_{вх}} = \frac{N \cdot m}{\delta_T},$$

где N – количество делений по шкале P_x , соответствующее перемещению кончика стрелки при измерении $X_{вх}$ в пределах заданного диапазона измерения торцового биения ступицы δ_T ;

m – цена деления шкалы P_x .

Таблица 7.1 – Результаты исследований

№	Значение входной величины $X_{вх}$		Сила тока $I_x, \mu A$				Анодное напряжение, В		Нелинейность измерительной цепи, $\Delta/L \cdot 100\%$
	по индикатору, мкм	по прибору P_x , дел. шк.	P_x	$R4 = 100 \text{ Ом};$	$R4 = 200 \text{ Ом};$	$R4 = 500 \text{ Ом}$	U_{a1}	U_{a2}	
1			«0»						
2			«+α»						
...			«-α»						
n									

3. По результатам экспериментальных исследований построить график нелинейности статической характеристики измерительной цепи механотронного преобразователя.

4. Для построения графика необходимо отложить по оси абсцисс показания по индикатору, а по оси ординат – показания по отсчетному устройству P_x .

5. Для определения величины нелинейности характеристики измерительной цепи с механотронного преобразователя провести через начало координат под углом 45° прямую. Разность ординат этой прямой и кривой, построенной по данным, снятым со шкалы отсчетного устройства, отнесенная к пределу измерения L по шкале и умноженная на 100 %, будет характеризовать искомую величину нелинейности.

Нелинейность характеристики измерительной цепи с механотронным преобразователем не должна превышать 1 %.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. . Основные типы механотронных преобразователей измерения малых перемещений и линейных размеров.

2. Конструкция и принцип действия механотронного преобразователя с двумя подвижными анодами.

3. Порядок построения статической характеристики измерительной цепи с механотронным преобразователем.

4. Устройство и принцип действия лабораторного стенда.

5. Определение цены деления и передаточного отношения измерительной цепи с механотронным преобразователем.

6. Основные достоинства и недостатки механотронных преобразователей.

7. Примеры применения механотронных преобразователей в конструкции измерительных станций автоматизированных измерительных систем.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 8.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, МОНТАЖА И ЭКСПЛУАТАЦИИ КИС НА БАЗЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки;
- изучение эксплуатационных характеристик;
- изучение требований к установочным поверхностям и монтажу.

1. Общие сведения

Для измерения больших перемещений сконструированы измерительные преобразователи линейных перемещений индуктивные с печатными обмотками – индуктосины, принцип действия которых основан на изменении взаимной индукции между обмотками головки и линейки при их взаимном перемещении.

Линейка – это часть преобразователя, имеющая одну печатную обмотку.

Головка – часть преобразователя, имеющая две обмотки, нанесенные со сдвигом друг относительно друга на $\frac{1}{4}$ величины шага печатных проводников соответствующей линейки.

Шкала – несколько линеек, установленных последовательно на одной плоскости с сохранением по всей длине одного и того же шага печатных проводников.

Шаг печатной обмотки линейки – расстояние между осевыми линиями печатных проводников, считая через один.

Данные преобразователи изготавливаются в 2-х исполнениях:

ДЛПН – датчики линейных перемещений нормальные с линейкой шириной 58 мм;

ДЛПУ – датчики линейных перемещений уменьшенные с линейкой шириной 30 мм.

Зависимость допустимой погрешности преобразователей от класса точности и величины перемещения указана в табл. 8.1.

Внутришаговая погрешность – погрешность преобразователя на длине перемещения, равной одному шагу.

Устанавливают следующие внутришаговые погрешности преобразователя:

для класса точности 1, не более – 6,0 мкм;

для класса точности 2, не более – 3,5 мкм;

для класса точности 3, не более – 2,0 мкм;

для класса точности 4, не более – 1,0 мкм.

В зависимости от исполнения устанавливается ряд номинальных длин линеек преобразователей: 136; 250; 500 мм.

Ряд шагов печатной обмотки линеек устанавливается независимо от исполнения: 1; 2; 5 мм.

Таблица 8.1 – Зависимость допустимой погрешности от класса точности и величины перемещения

Класс точности преобразователя по ГОСТ 20965–75	Длина перемещения, мм										
	до 10	св. 10 до 32	св. 32 до 125	св. 125 до 200	св. 200 до 320	св. 320 до 500	св. 500 до 800	св. 800 до 1250	св. 1250 до 2000	св. 2000 до 3200	св. 3200 до 5000
Предел допускаемых систематических погрешностей, мкм											
4	10,0	12,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	60,0
3	5,0	6,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	20,0	25,0	30,0
2	3,0	3,0	4,0	5,0	5,0	6,0	8,0	9,0	11,0	13,0	16,0
1	1,5	1,5	2,0	2,5	3,0	3,0	4,0	4,5	5,0	7,0	–

Примечание:

1. Класс точности преобразователя определяется низким классом точности любой из его частей;
2. Допустимая погрешность преобразователя соответствует указанной в таблице при условии выполнения

Предельная длина измеряемого координатного перемещения ограничивается величиной 5000 мм.

Длина измерения $L_{изм}$ при заданном количестве линеек должна определяться по формуле

$$L_{изм} = \sum_{i=1}^n L_i - 100,$$

где L_i – номинальная длина линейки, мм;

n – количество линеек.

Погрешность измерения определяется классом точности индикатора и выражается формулой

$$\Delta L = \pm(a + b \cdot L),$$

где a – аддитивная составляющая погрешности, мкм;

$b \cdot L$ – мультипликативная составляющая погрешности, мкм.

Требования к материалам

Основания линеек и головок должны изготавливаться из качественных конструкционных среднеуглеродистых закаливаемых сталей с температурным коэффициентом линейного расширения $(11,3 \pm 0,3) \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, не более, при испытании в диапазоне температур от +20 до +100 °С.

При изготовлении оснований линеек и головок из горячекатаной стали припуск на чистовое фрезерование должен быть на каждую сторону не менее 1,2 мм.

Печатные обмотки должны изготавливаться на фольгированном стеклотекстолите марки СФ-I-50-0,5 по ГОСТ 10316-70.

Для склеивания фольгированного стеклотекстолита с основанием должен применяться пленочный клей марки ВК-3 по ТУ 6-17-663-75.

Для защиты печатных обмоток и головок следует применять лак марки УР-231 по ТУ 6-10-863-76.

Основания линеек и головок должны иметь покрытие Ц.15хр по ГОСТ 9791-68.

Для шлифования поверхностей под склейку оснований линеек головок следует применять шлифовальные круги на керамической основе, причем, при шлифовании не следует применять смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ).

Электрический монтаж линеек и головок должен производиться с применением бескислотных флюсов припоем ПОС 61 по ГОСТ 21930-76 паяльником, имеющим мощность не более 50 Вт и температуру жала 250...280 °С.

Требования к качеству изготовления головок и линеек

Операции по изготовлению печатных обмоток головок и линеек не должны приводить к снижению прочности сцепления медной фольги с диэлектри-

ком, установленной ГОСТ 10316-70 для фольгированного стеклотекстолита марки СФ-1-50.

Клеевой шов между основанием и стеклотекстолитом при испытании на сдвиг должен выдержать не менее $1,7 \cdot 10^5 \text{ Н/м}^2$ (15 кгс/см²).

Электрические параметры

Устанавливаются следующие номинальные значения электрических параметров преобразователя:

– частота тока запитки, кГц	$10 \pm 0,05$
– ток запитки, А	$0,2 \pm 0,05$
– разница сопротивлений между печатными обмотками (контакты А, Б и В, Г) головки, %, не менее	0,5
– сопротивление изоляции между обмотками головки и основанием, МОм, не менее	10,0
– сопротивление изоляции между обмотками линейки и основанием, МОм, не менее	10,0

Условные обозначения частей преобразователя

Условное обозначение должно содержать:

- наименование части преобразователя;
- буквенный шифр исполнения;
- класс точности преобразователя;
- величину шага печатной обмотки линейки, мм;
- номинальную длину линейки, мм;
- буквенный шифр, обозначающий модификацию частей преобразователя, устанавливаемый в конструкторской документации на конкретную головку или линейку;
- обозначение настоящего стандарта.

Примеры условного обозначения:

- линейки преобразователя номинального исполнения ДЛПН класса точности 1 с шагом печатной обмотки 2 мм длиной 250 мм модификации А:

Линейка ДЛПН –1-2-250А ОСТ 3 –3965-77;

- головки преобразователя уменьшенного исполнения ДЛПУ класса точности 2, предназначенной для работы с линейкой, имеющей шаг печатной обмотки 5 мм, модификации головки Б:

Головка ДЛПУ –2-5Б ОСТ 3 –3965-77.

Эксплуатационные характеристики

Части преобразователя должны быть одного исполнения.

Шкала преобразователя должна набираться из линеек одного исполнения и одного класса точности.

Части преобразователя должны быть неподвижны относительно узлов деталей оборудования, перемещение которых измеряется.

Взаимное рабочее расположение частей преобразователя на оборудовании должно соответствовать чертежу (рис. 8.1) и размерам:

Размер А:

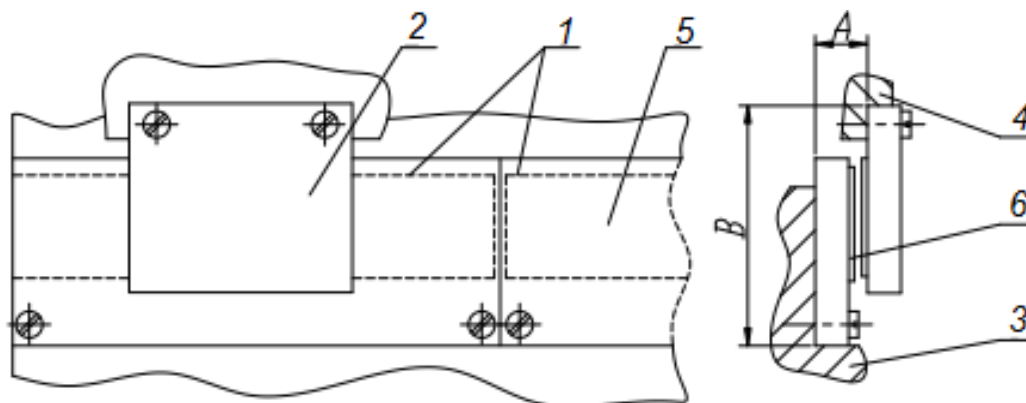
для исполнения ДЛПН – $9,8 \pm 0,05$ мм;

для исполнения ДЛПУ – $7,8 \pm 0,05$ мм.

Размер В:

для исполнения ДЛПН – $88,3 \pm 0,05$ мм;

для исполнения ДЛПУ – $46,7 \pm 0,05$ мм.



1– линейки шкалы; 2– головка; 3-4 – узлы и детали оборудования;

5 – печатная обмотка линейки; 6 – печатная обмотка головки

Рисунок 8.1 – Линейный индуктосин

Устанавливаются следующие номинальные значения электрических параметров:

ток запитки, I_0 , А	0,2;
частота тока, f_0 , кГц	10;
выходная ЭДС, E_0 мВ	0,7 (для ДЛПН);
	0,4 (для ДЛПУ).

Устанавливаются следующие максимальные рабочие значения электрических параметров:

ток запитки, $I_{\max}$, А	1,5;
частота тока, $f_{\max}$, кГц	100.

Рабочие значения ЭДС E следует определить по формуле

$$E = E_0 \cdot K_I \cdot K_f, \quad (8.3)$$

где E_0 – выходная ЭДС, мВ;

K_I – коэффициент тока;

K_f – коэффициент частоты.

Коэффициенты K_I и K_f следует определять по формулам

$$K_I = \frac{I}{I_0},$$

где I – рабочее значение тока запитки, А;
 I_0 – номинальное значение тока запитки, А.

$$K_f = \frac{f}{f_0},$$

где f – рабочее значение частоты тока, кГц;
 f_0 – номинальное значение частоты тока, кГц.

Требования по устойчивости к внешним воздействиям

1. Механические воздействия должны соответствовать требованиям, установленным для изделий обыкновенного исполнения третьего порядка группы 4 по ГОСТ 12997–76.

2. Рабочий зазор преобразователя должен быть защищен от попадания стружки или иных твердых частиц, которые могут привести к механическому повреждению печатных обмоток, а также воды, масла, смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) и различных растворителей.

3. Преобразователь должен быть защищен от ударов, которые могут привести к обрыву печатных или иных проводников, деформации оснований линеек и головки или повреждению их базовых поверхностей.

Требования к надежности

1. Безотказность работы преобразователя (нижнее значение наработки на отказ) должна быть 10000 часов (при доверительной вероятности 0,8) при условиях, установленных ГОСТ 13216-74.

2. Ремонтопригодность преобразователя, характеризующаяся значением среднего времени восстановления для замены любой части, должна быть 4 часа, не более, при условиях, установленных ГОСТ 13216-74.

3. Сохраняемость должна определяться значением гаммапроцентного срока сохраняемости преобразователя, которое должно быть 10 лет (при $\gamma = 98\%$) при условиях по группе Ж1 и в условиях транспортирования для группы Л по ГОСТ 15150-69.

4. Средний срок службы преобразователя должен быть 6 лет, не менее, при эксплуатации в условиях, указанных в данных методических указаниях.

2. Описание лабораторной установки

Установка с линейным индуктосином (рис. 8.2) состоит из следующих основных узлов: основания **1**, на котором установлены стойка **2** с кронштейнами **3** и **4**, на которых неподвижно закреплена линейка **5** индуктосина винтами **14**, а также подвижной головки **6**, закрепленной на накладке **12**, которая установлена на 4-х колонках **11** ползуна **10**, перемещающегося посредством микровинта **13** в

Technical drawing of a mechanical assembly, likely a pump or motor unit, showing various components labeled with numbers 1 through 16. The drawing includes a base (1), a central vertical assembly (2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16), and a control unit (17) labeled "БМН-1Н" and "УАБ".

Головка 6 выставлена относительно линейки 5 в соответствии с требованиями в эксплуатационных характеристиках.

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

- установка линейки 5;
- установка головки 6;
- электрический монтаж.

3. Перед затяжкой винтов 14 линейку 5 прижать к установочной поверхности кронштейна 4. Усилие затяжки – не более 9,8 Н·м.

52

5. Установить головку 6 в упор на установочную накладку 12 и затянуть винты 15 с усилием 9,8 Н·м.

6. После установки головки убедиться повторно с помощью специального щупа, что на всей длине ее перемещения обеспечивается зазор между линейкой и головкой.

7. Установить узел с головкой в крайнее нижнее положение относительно линейки 5 посредством микровинта 13.

8. Медленно перемещая узел с головкой 6 вверх в пределах одного оборота микровинта 13, найти ближайшую «нулевую точку», то есть такое положение головки 6 относительно линейки 5, при котором выходной сигнал преобразователя, зафиксированный по блоку индикации 16, будет минимальным.

9. Зафиксировать эту «нулевую точку» как начало отсчета по измерительному устройству.

10. Перемещая узел с головкой 6 вдоль линейки 5 от первой «нулевой точки», произвести 30 отсчетов по блоку индикации 16.

11. Занести результаты измерений в табл. 8.1.

12. Произвести обработку результатов измерений.

13. Определить предельную погрешность измерения и сравнить ее с допустимой.

14. Выполнить эскизы отдельных узлов и блоков установки (по указанию преподавателя).

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Результаты измерения занести в табл. 8.1

Таблица 8.1 – Результаты исследований

№	Показание прибора	Действительное значение R_{xi}	Среднее значение $\bar{R}_x$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x
1							
2							
...							
10							

2. Найти текущее действительное значение

3. Найти среднее арифметическое результатов измерений по формуле

$$\bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi},$$

где n – число наблюдений.

Значение $\bar{R}_x$ определяет эмпирический центр группирования случайной величины R_{xi} .

4. Найти эмпирическое среднее квадратическое отклонение, которое определяет рассеяние значений случайных величин в выборке относительно эмпирического центра группирования, по формуле:

$$S \approx \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_{xi} - R_{xi})^2}{n-1}}.$$

Чем меньше значение S , тем выше точность измерений, т.е. меньше случайные погрешности измерений.

5. Определить границы доверительного интервала, внутри которых с заданной вероятностью P будет находиться действительное значение измеряемой величины, по формуле:

$$\Delta R_x = \pm t \cdot S,$$

где t – коэффициент Стьюдента (табл. 8.2). Величину доверительной вероятности принять $P = 0,96$.

S – средняя квадратическая погрешность результата измерения.

Таблица 8.2 – Значения коэффициента Стьюдента

n/P	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995	0,999
8	1,42	1,9	2,36	3,00	3,5	4,03	5,4
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78

6. Если какой-либо отдельный результат наблюдений в полученном ряде измерений вызывает сомнение, необходимо вычислить величину

$$\tau = \frac{|R_{xi}^* - \bar{R}_x|}{\sigma},$$

где R_{xi}^* – проверяемый результат.

Если вычисленные τ окажутся больше $\tau(n, \rho)$, взятого из таблицы 8.3, то члены R_{xi}^* ряда наблюдений необходимо считать промахом и исключить.

Таблица 8.3 – Значения $\tau(n, \rho)$

n/P	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995	0,999
9	2,10	2,246	2,35	2,46	2,53	2,59	2,68
10	2,15	2,29	2,41	2,54	2,62	2,62	2,79

6. Результат измерения: $R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$ при $P = \dots$.
7. Суммарная погрешность измерения $\Delta_{lim} = \pm 3\sigma$.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. Назначение индуктосинов.
2. Устройство, принцип действия линейных индуктосинов.
3. Технические характеристики индуктосинов.
4. Требования к материалам и качеству изготовления головок и линеек индуктосинов.
5. Электрические параметры индуктосинов.
6. Условное обозначение частей индуктосинов.
7. Эксплуатационные характеристики индуктосинов.
8. Требования к надежности индуктосинов.
9. Требования монтажу и эксплуатации индуктосинов.

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 9.

ИЗУЧЕНИЕ КОНСТРУКЦИИ, НАЛАДКИ И ПРИНЦИПА ДЕЙСТВИЯ КИС ДЛЯ КОНТРОЛЯ РАДИАЛЬНОГО И ТОРЦОВОГО БИЕНИЙ ДЕТАЛЕЙ ТИПА “ВАЛ” ОТНОСИТЕЛЬНО ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ОСИ ЦЕНТРОВЫХ ОТВЕРСТИЙ И ИССЛЕДОВАНИЕ ЕЕ ХАРАКТЕРИСТИК

Цель работы:

- изучение конструкции отдельных узлов и блоков КИС и способов ее компоновки;
- определение метрологических характеристик КИС;
- исследование погрешностей измерений.

1. Общие сведения

Точность формы и взаимного расположения цилиндрических, конических, плоских и других поверхностей имеет исключительно важное значение для правильного выполнения деталями своих функций в конструкции узла или изделия и оказывает большое влияние на качество изделий машиностроения и приборостроения.

Отклонение расположения поверхностей, такие как непараллельность, перекос осей, неперпендикулярность, несоосность, радиальное и торцовое биение и т. д., совместно с отклонениями формы определяют возможность сборки изделия, если в нем имеются детали, сопрягающиеся с контрдеталью одновременно по двум или большему числу поверхностей. В таких конструкциях форма и взаимное расположение посадочных поверхностей ограничиваются жесткими допусками и техническими требованиями. В условиях серийного производства на долю контроля расположения поверхностей приходится весьма значительная часть измерений, предусмотренных технологическими процессами механической обработки и сборки деталей и узлов. Большинство измерений при контроле расположения поверхностей осуществляется с помощью контрольно-измерительных приспособлений и устройств.

Необходимые для качества изделия требования к точности формы и расположения поверхностей задаются конструктором в чертежах деталей и узлов условными обозначениями или текстом в технических требованиях. При отсутствии в чертеже указаний о предельных отклонениях формы и расположения поверхностей эти отклонения ограничиваются полем допуска на размер.

Под отклонением расположения понимается отклонение от номинального расположения рассматриваемой поверхности, или отклонение от номинального взаимного расположения рассматриваемых поверхностей.

Радиальное биение определяется как разность наибольшего и наименьшего расстояния от проверяемой поверхности до базовой оси вращения детали в сечении, перпендикулярном этой оси. На величину радиального биения влияют также отклонения геометрической формы – некруглость, овальность, изогнутость и т. д.

Торцовое биение – разность наибольшего и наименьшего расстояний от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси.

Радиальное и торцовое биения могут определяться с помощью головок, индикаторов часового типа или преобразователей при вращении детали относительно базовой цилиндрической поверхности, которая номинально соосна с проверяемой. Выбор схемы измерения биений определяется указанной в чертеже базой, относительно которой необходимо производить измерение. При недостаточной длине установочной цилиндрической поверхности относительно опорного торца в технических требованиях должна быть оговорена дополнительная упорная база в торец. Такое комбинированное базирование характерно при соотношении 1:5 и более между длиной центрирующей поверхности и диаметром опорного торца и применяется при контроле радиального и торцового биений. В этом случае деталь практически устанавливается по плоскости торца и дополнительно центрируется по короткой цилиндрической поверхности. Центрирование может быть осуществлено с помощью измерительной головки. Для поверхностей вращения, образующая которых непараллельна базовой оси, например, конических, биение оговаривается и измеряется в направлении, перпендикулярном к проверяемой оси.

2. Описание лабораторной установки

На станине 1 установлены две бабки с центрами 2 и 3, которые перемещаются и закрепляются в нужном направлении. На той же станине установлена стойка 4 с индикатором 5, при помощи которого производится отсчет контролируемого параметра.

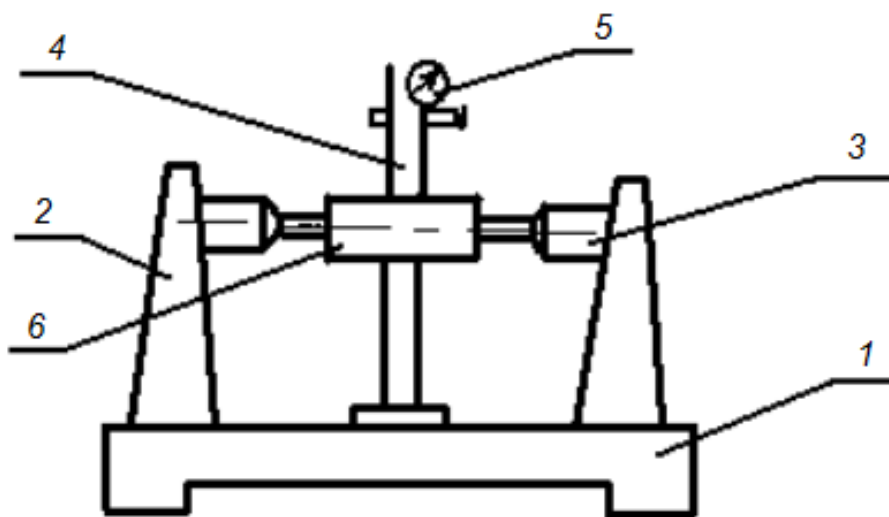


Рисунок 9.1 – Контрольно-измерительная станция для контроля радиального и торцового биений

Кроме центров на поверхности станины могут устанавливаться различные призмы: широкие – для контроля погрешности формы и проверки биения рассматриваемой поверхности относительно базовой. А также узкие – для контроля биений относительно общей оси.

При контроле торцового биения индикатор 5 закрепляется в стойке 4 так, чтобы его измерительный наконечник располагался в плоскости, параллельной оси исследуемой детали (перпендикулярно исследуемому торцу).

3. Порядок выполнения экспериментальных исследований

1. Изучить конструкции используемых приборов, а также назначение элементов и узлов КИУ для контроля заданного параметра.
2. Установить деталь в центрах 2 и 3, закрепить бабки в нужном положении зажимами.
3. Расположить измерительный наконечник индикатора 5 примерно по диаметру детали на контролируемой поверхности и добиться натяга около 0,5 мкм.
4. Медленно вращая деталь в центрах, снять показания по индикатору в 10-ти точках за один оборот детали.
5. Повторить измерения в двух других сечениях, расположенных на контролируемой поверхности на некотором расстоянии друг от друга.
6. Результаты наблюдений занести в табл. 9.1.
7. Установить измерительный наконечник индикатора 5 перпендикулярно исследуемому торцу и добиться натяга около 0,5 мм.
8. Выполнить п.п. 4-6.
9. Произвести обработку результатов наблюдений.

4. Порядок обработки результатов измерений

1. Определить радиальное и торцовое биение контролируемых поверхностей как разность наибольшего и наименьшего показаний индикатора в каждом сечении, результат занести в табл. 9.1.

n	Показания индикатора						$\overline{R}_x$	$(\overline{R}_{xi} - R_{xi})$	$(\overline{R}_{xi} - R_{xi})^2$	S	ΔR_x	Степень точности
	Радиальное биение											
	сеч. 1	R_{r1}	сеч. 2	R_{r1}	сеч. 3	R_{r1}						
1												
2												
...												
10												
	Торцевое биение											
	сеч. 1	R_{t1}	сеч. 2	R_{t1}	сеч. 3	R_{t1}						
1												
2												
...												
10												

2. Найти среднее арифметическое результатов измерений по формуле

$$\bar{R}_x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_{xi} ,$$

где n – число наблюдений.

Значение $\bar{R}_x$ определяет эмпирический центр группирования случайной величины R_{xi} .

3. Найти эмпирическое среднее квадратическое отклонение, которое определяет рассеяние значений случайных величин в выборке относительно эмпирического центра группирования, по формуле

$$S \approx \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{R}_x - R_{xi})^2}{n-1}} .$$

Чем меньше значение S , тем выше точность измерений, т.е. меньше случайные погрешности измерений.

4. Определить границы доверительного интервала, внутри которых с заданной вероятностью P будет находиться действительное значение измеряемой величины, по формуле

$$\Delta R_x = \pm t \cdot S ,$$

где t – коэффициент Стьюдента (табл. 9.2);

S – средняя квадратическая погрешность результата измерения.

Примечание. Величина доверительной вероятности $P = 0,96$.

Таблица 9.2 – Значения коэффициента Стьюдента

n/P	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995	0,999
8	1,42	1,9	2,36	3,00	3,5	4,03	5,4
9	1,40	1,86	2,31	2,90	3,36	3,83	5,04
10	1,38	1,83	2,26	2,82	3,25	3,69	4,78

5. Если какой-либо отдельный результат наблюдений в полученном ряде измерений вызывает сомнение, необходимо вычислить величину

$$\tau = \frac{|R_{xi}^* - \bar{R}_x|}{\sigma} ,$$

где R_{xi}^* – проверяемый результат.

Если вычисленные τ окажутся больше $\tau(n, \rho)$, взятого из таблицы 9.3, то члены R_{xi}^* ряда наблюдений необходимо считать промахом и исключить.

Таблица 2.3 – Значения $\tau(n, \rho)$

n/P	0,8	0,9	0,96	0,98	0,99	0,995	0,999
9	2,10	2,246	2,35	2,46	2,53	2,59	2,68
10	2,15	2,29	2,41	2,54	2,62	2,62	2,79

6. Результат измерения: $R_x = \bar{R}_x \pm \Delta R_x$ при $P = \dots$.

7. Суммарная погрешность измерения $\Delta_{lim} = \pm 3\sigma$.

8. Построить графическое изображение отклонения от круглости в 3-х сечениях, отложив показания индикатора последовательно от центра идеальной окружности, разделенной на десять частей, и соединив их плавной кривой.

9. Построить графическое изображение отклонения формы и расположения торцевой поверхности детали в сечении с наибольшими показаниями индикатора, отложив по оси абсцисс номер измерения, а по оси ординат – величину торцового биения. Соединив полученные точки, получим ломаную линию. Величина отклонения торцевой поверхности детали от перпендикулярности определяется как угол наклона аппроксимирующей прямой, проведенной через начало координат, а отклонение от плоскостности как максимальное расстояние между двумя прилегающими прямыми на заданном участке ломаной линии.

10. На основании полученных расчетных данных определить степень точности полученных отклонений.

5. Содержание отчета

Отчет, представляемый к защите после окончания исследований, должен содержать:

1. Титульный лист, наименование и цель исследований.
2. Эскиз детали с заданными параметрами контроля.
3. Схему лабораторной установки КИС и ее описание.
4. Эскизы отдельных узлов КИС (по указанию преподавателя).
5. Результаты эксперимента.
6. Результаты расчетов.
7. Выводы по результатам исследований.

Защита отчета проводится на очередном занятии.

6. Контрольные вопросы

1. . Дайте определение радиального и торцового биения, укажите способы их нормирования.
2. Охарактеризуйте метод двойного измерения.
3. Приведите схемы измерения радиального и торцового биения в зависимости от вида базы.
4. Назовите основные узлы КИУ, необходимые для контроля заданных параметров.

5. Охарактеризуйте основные элементы выбранного КИУ.
6. Сформулируйте назначение параметра S и способ его определения.
7. Охарактеризуйте представление результата измерения с учетом доверительного интервала.
8. Как исключается промах из ряда измерений.
9. Графическое представление исследуемых отклонений формы и расположения поверхностей.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Изучение и исследование контрольно-измерительных станций: Метод. указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Проектирование переналаживаемых средств измерений» / Разраб. Л. А. Глеч – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2004. – 67 с.
2. Информационные системы: Учебное пособие / О.Л. Голицына, Н.В. Максимов, И.И. Попов. - 2-е изд. - М.: Форум: НИЦ ИНФРА-М, 2014. - 448 с.: ил.
3. Зайцев, А.В. Информационные системы в профессиональной деятельности: Учебное пособие / А.В. Зайцев. - М.: РАП, 2013. - 180 с.
4. Информационные системы: теоретические предпосылки к построению / Захарова Е.Я., Милехина О.В. - Новосибирск: НГТУ, 2010. - 126 с.
5. Капля, Е. В. Моделирование процессов управления в интеллектуальных измерительных системах: монография / Е.В. Капля, В.С. Кузеванов, В.П. Шевчук. - Москва: Физматлит, 2009. - 512 с.
6. Проектирование аналоговых и цифровых устройств: Учебное пособие / В.С. Титов, В.И. Иванов, М.В. Бобырь. - М.: НИЦ ИНФРА-М, 2014. – 143 с.
7. Шерстобитова, А. С. Датчики физических величин: учебное пособие / А.С. Шерстобитова. - Санкт-Петербург: НИУ ИТМО, 2017. - 27 с.
8. Волегов, А. С. Электронные средства измерений электрических величин: учебное пособие / А. С. Волегов, Д. С. Незнахин, Е. А. Степанова. - Екатеринбург: Уральский федеральный университет, ЭБС АСВ, 2014. - 104 с.
9. Вострокнутов, Н. Н. Электрические измерения: учебное пособие / Н. Н. Вострокнутов. - Москва: Академия стандартизации, метрологии и сертификации, 2017. - 321 с.
10. Ким, К. К. Средства электрических измерений и их поверка: учебное пособие / К. К. Ким, Г. Н. Анисимов, А. И. Чураков; под редакцией К. К. Кима. – Санкт-Петербург: Лань, 2018. – 316 с.

Учебное издание

**Измерительные
информационные системы**

Часть 1

*Учебно-методическое пособие
к лабораторным работам по дисциплине*

Составители: **Васютенко** Александр Павлович,
Балакина Наталья Анатольевна

В авторской редакции

Изд. № 12/2021. Объем 4 п.л.
РИИЦМ ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет»