

**МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«Казанский государственный аграрный университет»**

Институт механизации и технического сервиса

Кафедра машин и оборудования в агробизнесе

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ И ПРИБОРЫ

Практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ

(Часть 2)



Казань, 2018

УДК 53.083

ББК 30.1

Составители: Иванов Б.Л., Халиуллин Д.Т., Кашапов И.И., Хусаинов Р.К.

Рецензенты:

Директор ООО «Дамилк-Агро» Рахмеева Г.Р.

Заведующий кафедрой техносферной безопасности ФГБОУ ВО Казанский ГАУ, к.т.н., доцент Гаязиев И.Н.

Практикум рассмотрен и одобрен:

Решением заседания кафедры машин и оборудования в агробизнесе Казанского ГАУ (протокол № 7 от 25 декабря 2017 г.)

Решением методической комиссии ИМ и ТС Казанского ГАУ (протокол № 6 от 16 февраля 2018 г.)

Иванов Б.Л., Халиуллин Д.Т., Кашапов И.И., Хусаинов Р.К. Технологические измерения и приборы: Практикум для выполнения лабораторных и самостоятельных работ. Часть 2 – Казань: Изд-во Казанского ГАУ, 2017. – 32 с.

Практикум по дисциплине «Технологические измерения и приборы» предназначен для выполнения лабораторных и самостоятельных работ обучающихся по направлениям 35.03.06 Агроинженерия и 20.03.01 Техносферная безопасность и может использоваться для изучения дисциплин «Автоматика объектов животноводства», «Автоматика объектов растениеводства», «Электрозащита автоматических линий».

В практикуме приведены материалы, раскрывающие методы и принцип работы приборов для измерения различных физических величин. Рассматриваются функциональное назначение и общее устройство измерительных приборов.

Практикум содержит теоретическое обоснование, задания и методику выполнения лабораторных работ, контрольные вопросы по каждой работе. В практикуме приведены задания для выполнения самостоятельной работы студентов, руководство по технике безопасности при работе в лабораториях, перечень рекомендуемой литературы.

УДК 53.083

ББК 30.1

© Казанский государственный аграрный университет 2018 г.

СОДЕРЖАНИЕ

Техника безопасности при эксплуатации учебного стенда	4
Подготовка и порядок выполнения работ	4
Лабораторная работа №5. Статические характеристики датчиков линейного перемещения	5
Лабораторная работа №6. Статические характеристики датчиков углового положения	16
Лабораторная работа №7. Статическая характеристика датчика давления.....	20
Самостоятельная работа студентов (СРС).....	22
Библиографический список	31

ТЕХНИКА БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЧЕБНОГО СТЕНДА

Лабораторный стенд «Технологические датчики» НТЦ-05.05 предназначен для использования в качестве учебного оборудования при проведении лабораторных работ по дисциплинам «Технологические измерения и приборы», «Автоматика», «Автоматика объектов животноводства», «Электрозащита автоматических линий» и «Инженерные коммуникации».

По степени защиты человека от поражения электрическим током стенд относится к классу 1 в соответствии с требованиями ГОСТ 26104-89.

Перед выполнением лабораторных работ студент обязан пройти вводный инструктаж и расписаться в журнале по технике безопасности. Студенты, не прошедшие вводный инструктаж, к работе не допускаются, а допущенные, при нарушении правил техники безопасности отстраняются от выполнения лабораторной работы.

Перед выполнением лабораторных работ необходимо внимательно изучить схемы стенда и ознакомиться с устройством лабораторной установки.

Категорически запрещается прикасаться к оборудованию стенда кроме органов, управления и диагностики, вынесенных на лицевую панель стойки электрооборудования.

При работе с переносными приборами необходимо соблюдение мер безопасности, предусмотренных инструкцией по технике безопасности.

При обнаружении любой неисправности незамедлительно прекратить работу на стенде и обратиться к преподавателю или обслуживающему персоналу.

ПОДГОТОВКА И ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

Перед началом работы необходимо тщательно изучить и подробно ознакомиться со схемой предстоящей лабораторной работы.

Начертить принципиальную схему работы в тетради. После этого вычертить монтажную схему с указанием мест подключения перемычек и составить таблицу соединений, согласно которой будут проводиться лабораторные измерения.

Сборку схем производить только при отключенной питающей сети. После окончания сборки схемы проверить правильность соединений в соответствии со схемами, прилагаемыми к лабораторным работам. Убедиться в отсутствии коротких замыканий в монтаже схемы. После чего обратиться к преподавателю за разрешением на проведение лабораторной работы.

Провести опыты и полученные результаты записать в тетради. Экспериментальная часть работы считается выполненной после просмотра и утверждения отчета преподавателем.

Лабораторная работа №5

«Статические характеристики датчиков линейного перемещения»

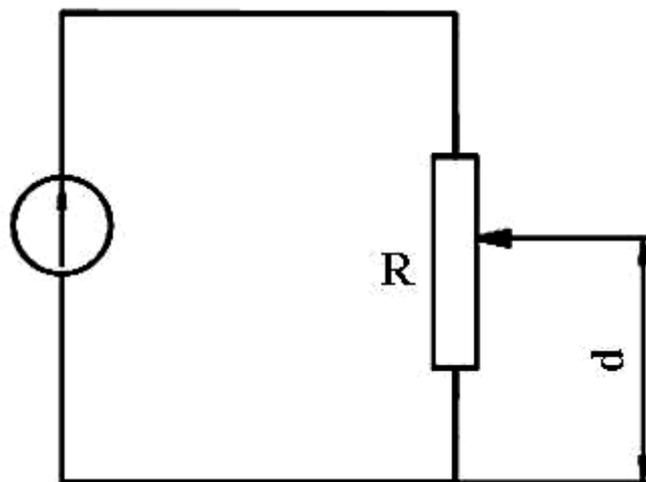
5.1 Цель работы

Изучить принцип работы и исследовать характеристики датчиков линейного перемещения

5.2 Краткие теоретические сведения

Потенциометрические датчики перемещения

Датчики данного типа в своей основе имеют электрический контур, содержащие потенциометр (рисунок 5.1). Линейное перемещение объекта приводит к изменению сопротивления потенциометра (переменного резистора). Если через потенциометр пропускать постоянный ток, то падение напряжения на нём будет пропорционально величине сопротивления, и, следовательно, величине линейного перемещения интересующего объекта.



R – сопротивления; d – расстояние до объекта

Рисунок 5.1 – Потенциометрический датчик перемещения

Наряду с механическими датчиками перемещения, потенциометрические датчики получили наиболее широкое распространение в силу своей простоты и низкой стоимости, однако для универсальных, прецизионных и бесконтактных измерений в последнее время всё чаще используются датчики на основе оптических эффектов.

Оптические датчики перемещения

Существует множество вариаций схем датчиков перемещения, основанных на различных оптических эффектах. Наиболее популярной

является схема оптической триангуляции – датчик положения является, по сути, дальномером, который определяет расстояние до интересующего объекта, фиксируя рассеянное поверхностью объекта излучение и определит угол отражения, что даёт возможность определить длину d – расстояние до объекта (рисунок 5.2). Важным достоинством большинства оптических датчиков является возможность производить бесконтактные измерения, кроме того, такие датчики обычно довольно точны и имеют высокое быстродействие.

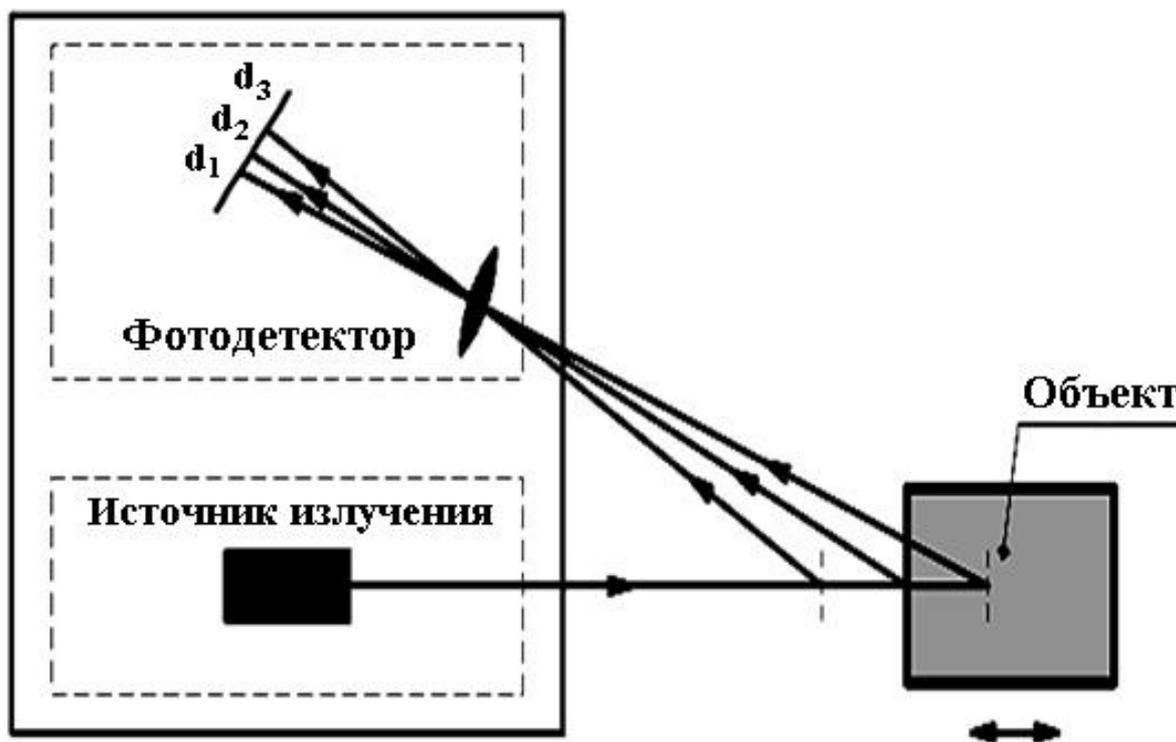


Рисунок 5.2 – Оптический датчик перемещения на основе схемы оптической триангуляции

В другой реализации оптического датчика, предназначенной для регистрации и определения параметров малых перемещений и вибраций, используется двойная решётчатая конструкция, а также источник света и фотодетектор (рисунок 5.3).

Одна решётка неподвижна, вторая подвижна и может быть механически закреплена на интересующем объекте или каким-либо способом передавать датчику его движение. Малое смещение подвижной решётки приводит к изменению интенсивности света, регистрируемой фотодетектором, причём с уменьшением периода решётки точность датчика возрастает, однако сужается его динамический диапазон.

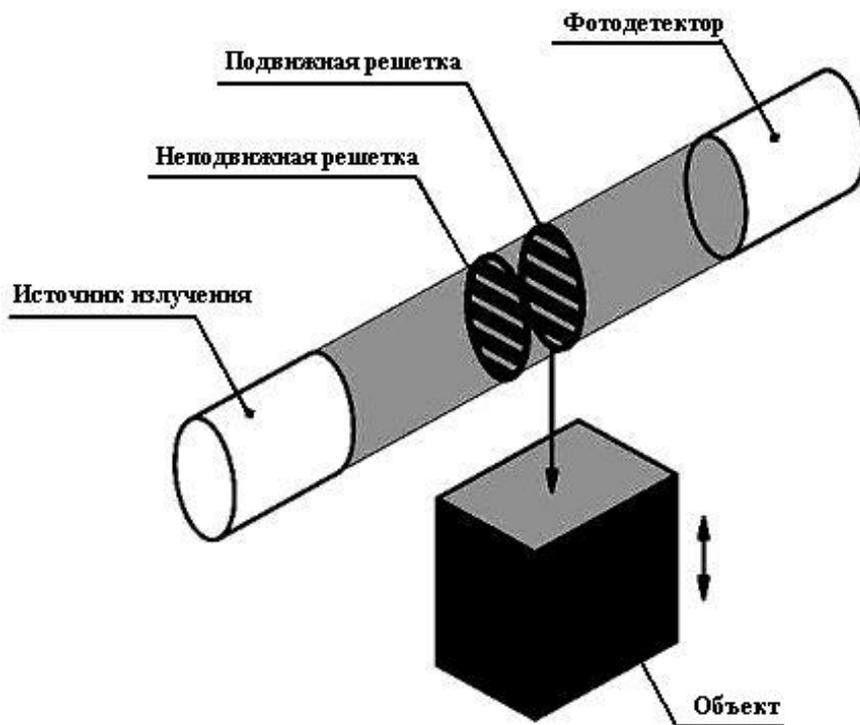


Рисунок 5.3 – Оптический датчик перемещения на основе дифракционных решеток

Дополнительными возможностями применения обладают оптические датчики, учитывающие поляризацию света. В таких датчиках может быть реализован алгоритм селекции объектов по отражательным свойствам поверхности, т.е. датчик может «обращать внимание» только на объекты с хорошей отражающей способностью, прочие объекты игнорируются. Разумеется, чувствительность к поляризации негативно сказывается на стоимости подобных устройств.

Ёмкостные датчики перемещения

В основе работы датчиков данного типа лежит взаимосвязь ёмкости конденсатора с его геометрической конфигурацией. В простейшем случае речь идёт об изменении расстояния между пластинами, вследствие внешнего физического воздействия (рисунок 5.4). Поскольку ёмкость конденсатора изменяется обратно пропорционально величине зазора между пластинами, определение ёмкости при прочих известных параметрах позволяет судить о расстоянии между пластинами. Изменение ёмкости можно зафиксировать различными способами, однако в любом случае конденсатор необходимо включить в электрическую цепь.



Рисунок 5.4 – Емкостный датчик линейного перемещения с изменяющейся величиной зазора

Рассмотрим другую схему (рисунок 5.5), где выходным параметром является электрическая ёмкость, содержащая конденсатор с подвижным диэлектриком. Перемещение диэлектрической пластины между обкладками конденсатора также приводит к изменению его ёмкости. Пластина может быть механически связана с интересующим объектом, и в этом случае изменение ёмкости свидетельствует о перемещении объекта. Кроме того, если сам объект обладает свойствами диэлектрика и имеет подходящие габариты, он может быть использован непосредственно в качестве диэлектрической среды в конденсаторе.

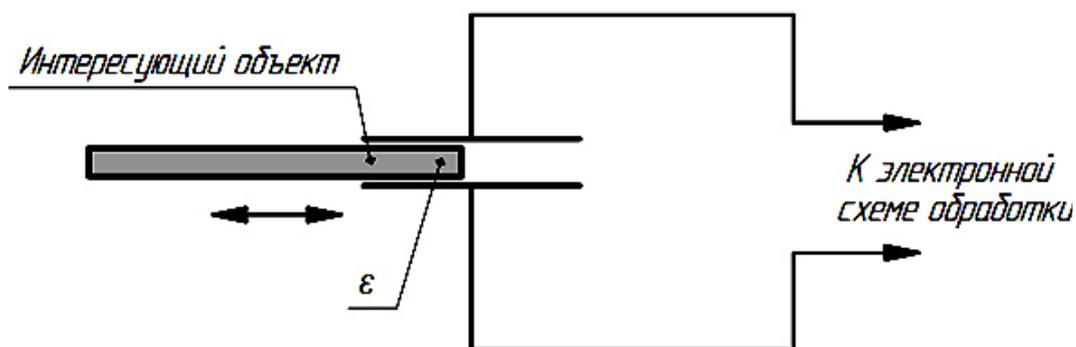
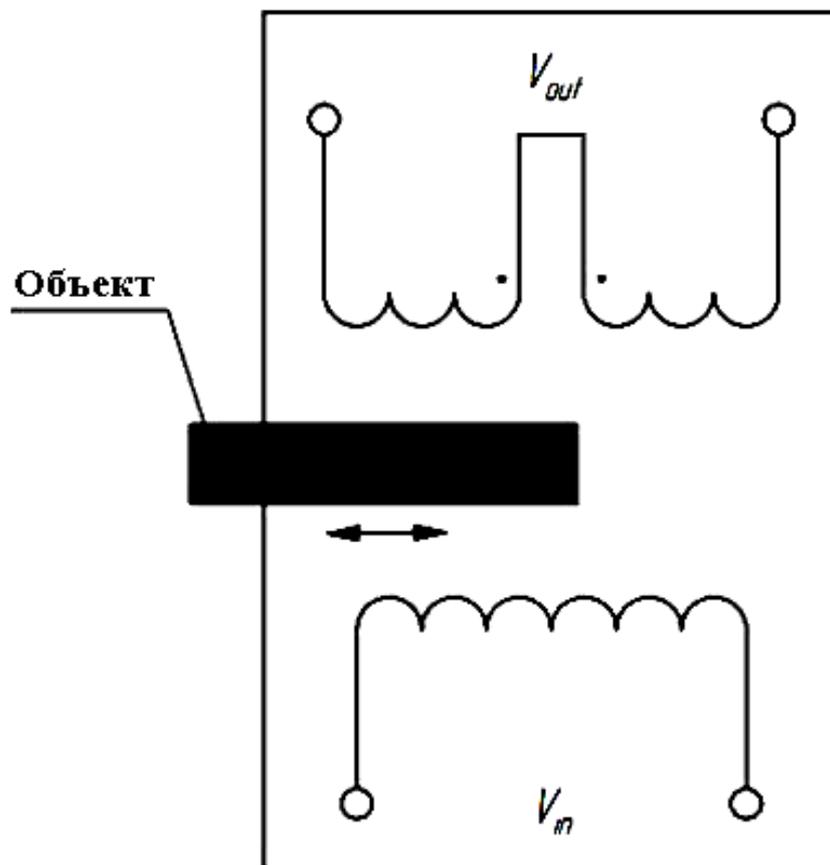


Рисунок 5.5 – Емкостный датчик линейного перемещения с подвижным диэлектриком

Индуктивные датчики перемещения

В одной из конфигураций датчика данного типа чувствительным элементом является трансформатор с подвижным сердечником. Перемещение внешнего объекта приводит к перемещению сердечника, что вызывает изменение потокосцепления между первичной и вторичной обмотками трансформатора (рисунок 5.6).



V_{in} – напряжение на входе; V_{out} – напряжение на выходе

Рисунок 5.6 – Индуктивный датчик перемещения на трансформаторе

Поскольку амплитуда сигнала во вторичной обмотке зависит от потокосцепления, по величине амплитуды вторичной обмотки можно судить о положении сердечника, а значит и о положении внешнего объекта.

Другая конфигурация имеет более простую схему, однако она пригодна лишь для небольшого количества приложений, где требуется определять незначительные перемещения или вибрации объектов, состоящих из ферромагнитного материала. В данной схеме интересующий ферромагнитный объект играет роль магнитопровода, положение которого влияет на индуктивность измерительной катушки (рисунок 5.7).

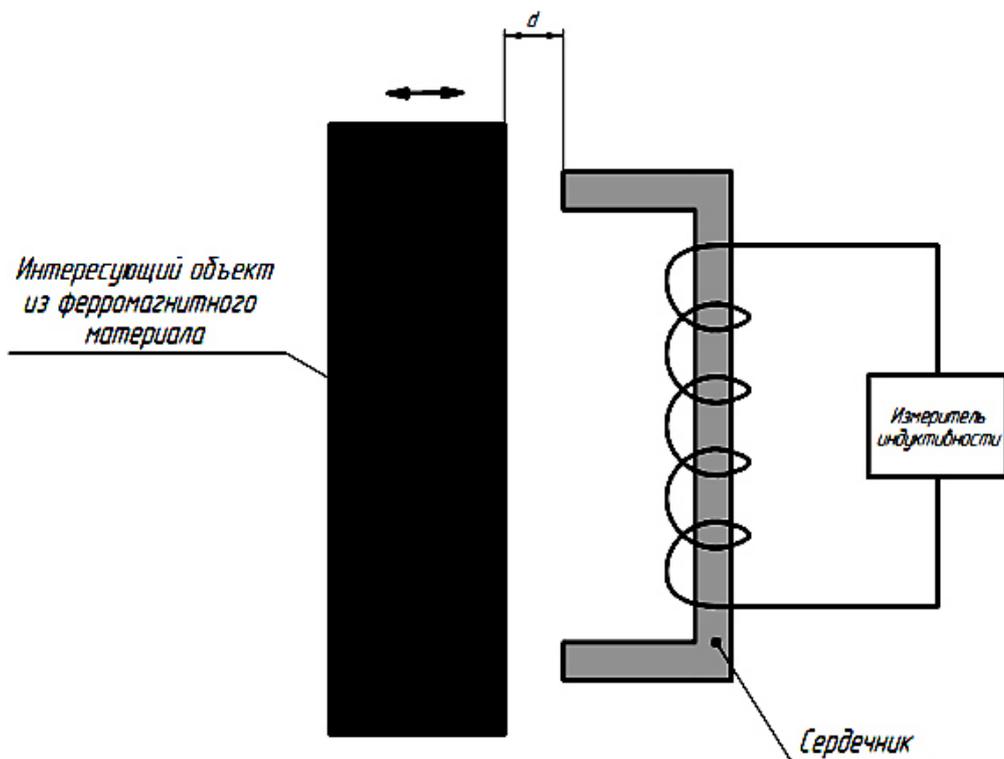


Рисунок 5.7 – Индуктивный датчик перемещения для объектов из ферромагнитных материалов

Ультразвуковые датчики перемещения

В ультразвуковых датчиках реализован принцип радара – фиксируются отражённые от объекта ультразвуковые волны, поэтому структурная схема обычно представлена источником ультразвуковых волн и регистратором (рисунок 5.8), которые обычно заключены в компактный корпус.

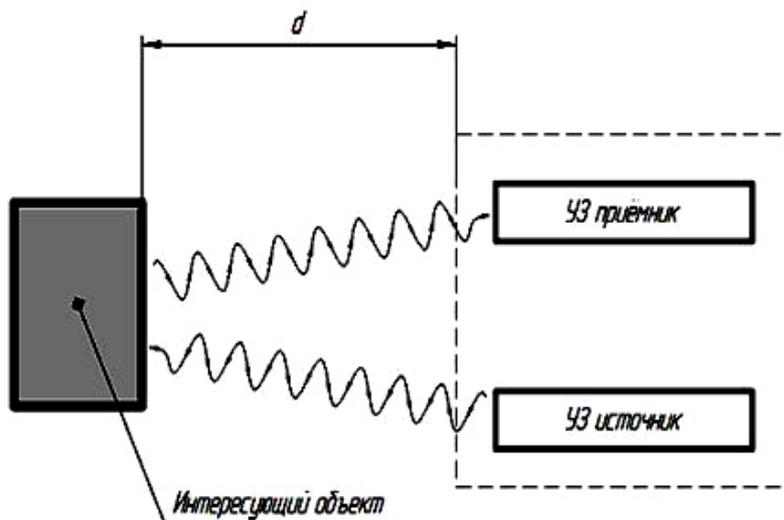


Рисунок 5.8 – Ультразвуковой датчик перемещения

Определение временной задержки между моментами отправки и приёма ультразвукового импульса позволяет измерять расстояние до объекта с

точностью, достигающей до десятых долей миллиметра. Наряду с оптическими, ультразвуковые датчики на сегодняшний день являются, пожалуй, наиболее универсальным и технологичным бесконтактным средством измерения. Использование этого принципа измерений опять же можно найти в детекторах обнаружения дефектов, только на этот раз уже в ультразвуковых дефектоскопах.

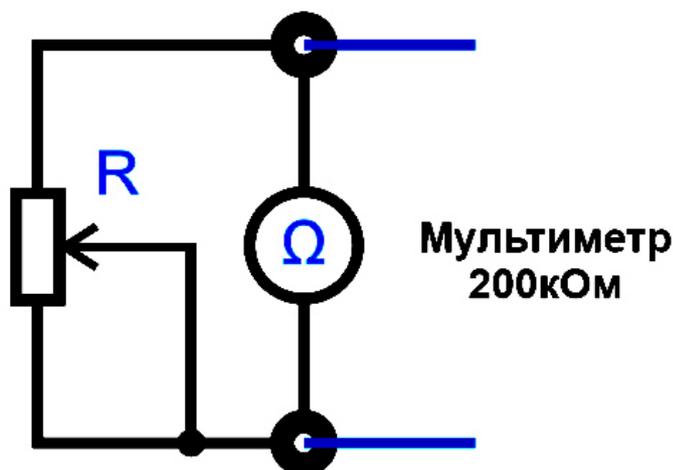
5.3 Порядок выполнения работы

5.3.1 Исследование резистивного датчика линейного перемещения

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить мультиметр к гнездам резистивного датчика (рисунок 5.9).

Выставить предел измерения 200 кОм.



R – сопротивление; Ω – омметр

Рисунок 5.9 – Схема подключения мультиметра для исследования резистивного датчика линейного перемещения

Перемещая ползунок резистора вправо, регистрировать значения сопротивления R и перемещения X. Полученные данные занести в таблицу 5.1.

Таблица 5.1 – Экспериментальные данные

№ п/п	X, м	R, Ом
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Построить статическую характеристику $R=f(X)$.

По окончании работы, переместить ползунок резистора в начальное положение, отсоединить мультиметр, отключить питание стенда переводом автоматического выключателя «СЕТЬ» в нижнее положение.

5.3.2 Исследование оптоэлектрического датчика линейного перемещения

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220В, 50Гц и вставить кодовую линейку в отверстие.

Параметры кодовой линейки:

Длина кодовой линейки L, L=123мм;

Количество отверстий N, N=20.

Выставить кодовую линейку на нулевое значение. При необходимости сбросить показания счетчика нажатием кнопки SB4.

Перевести тумблер SB3 в верхнее положение «Диодная оптопара».

Передвигать кодовую линейку вправо, регистрировать количество «шагов» N и перемещение X . Полученные данные занести в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Экспериментальные данные

№ п/п	Диодная оптопара		Транзисторная оптопара	
	X, м	N, шаг	X, м	N, шаг
1.				
2.				
3.				
4.				
5.				

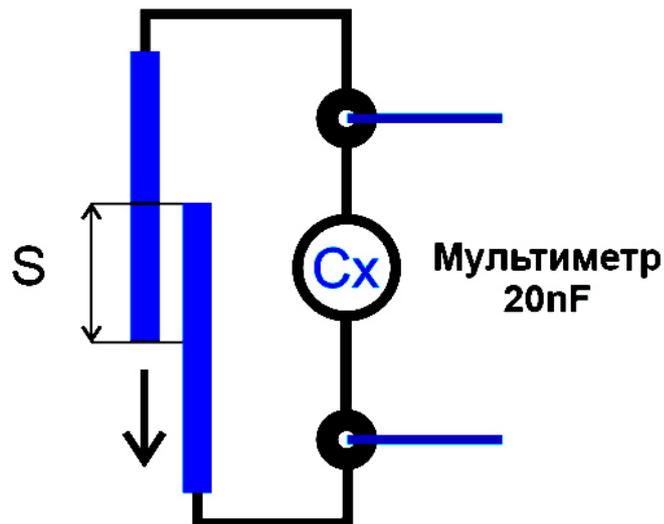
Перевести тумблер SB3 в нижнее положение «Транзисторная оптопара».

Построить статическую характеристику $N=f(X)$ для каждого типа оптопары.

По окончании работы, извлечь кодовую линейку, отключить питание стенда переводом автоматического выключателя «СЕТЬ» в нижнее положение.

5.3.3 Исследование ёмкостного датчика линейного перемещения

Подключить мультиметр к гнездам ёмкостного датчика линейного перемещения (рисунок 5.10). Для этого переставить измерительные щупы на мультиметре в гнездо Cx и СОМ, выставить предел измерения 20nF, нажать кнопку Cx/Lx.



S – площадь перекрытия пластин; C_x – конденсатор

Рисунок 5.10 - Схема подключения мультиметра для исследования емкостного датчика линейного перемещения

Передвигать пластину датчика ручкой вправо, регистрируя значения емкости и перемещения. Полученные данные занести в таблицу 5.3.

Таблица 5.3 – Экспериментальные данные

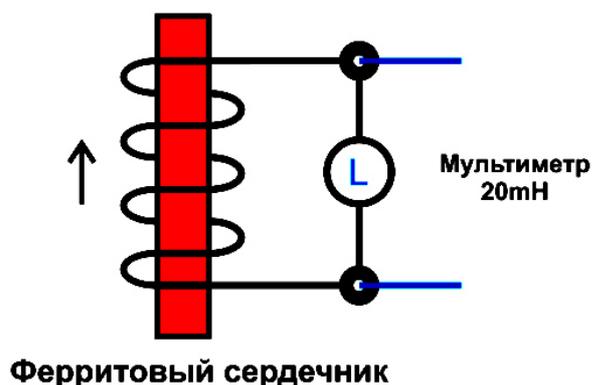
№ п/п	X , м	C_x , nF
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Построить статическую характеристику $C_x=f(X)$.

По окончании работы вернуть пластину датчика в исходное положение.

5.3.4 Исследование индуктивного датчика линейного перемещения

Подключить мультиметр к гнездам индуктивного датчика линейного перемещения (рисунок 5.11). Для этого переставить измерительные щупы на мультиметре в гнездо Lx и COM , выставить предел измерения $20mH$, нажать кнопку Cx/Lx .



L – Индуктивность

Рисунок 5.11 – Схема подключения мультиметра для исследования индуктивного датчика линейного перемещения

Передвигать ферритовый сердечник (входит в комплект стенда) влево, регистрируя значения индуктивности катушки и перемещения сердечника. Полученные данные занести в таблицу 5.4.

Таблица 5.4 – Экспериментальные данные

№ п/п	X, м	Lx, мH
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

Построить статическую характеристику $S_x=f(X)$.

По окончании работы, извлечь ферритовый сердечник из катушки, отсоединить и отключить мультиметр.

5.3.5 Исследование ультразвукового датчика линейного перемещения

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить ультразвуковой датчик в разъем XS1 (рисунок 5.12).

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Направить датчик на объект или поверхность (стена или пол) на расстояние не более 1.8 м. Индикатор X показывает расстояние в метрах до объекта, вспомогательные светодиоды указывают насколько близко или далеко находится объект.

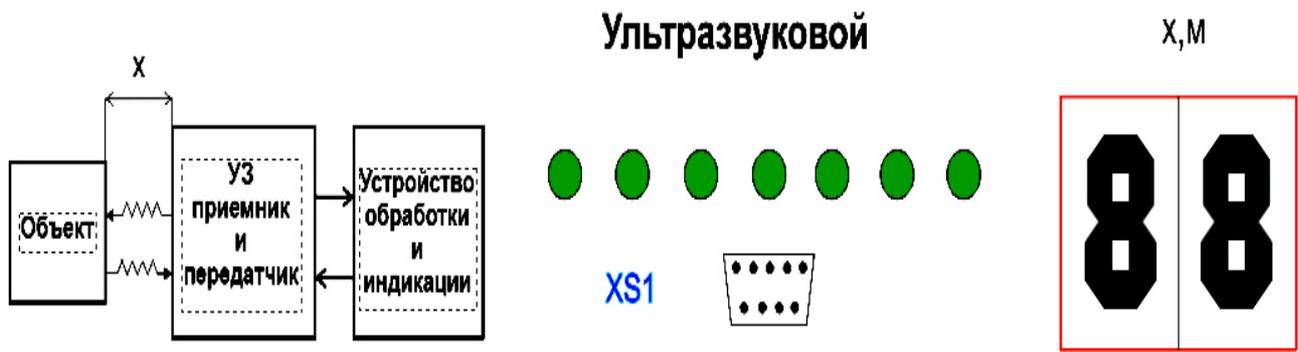


Рисунок 5.12 – Схема подключения ультразвукового датчика линейного перемещения

С помощью рулетки или линейки (не входит в комплект) снять и сравнить показания датчика и рулетки (линейки). Полученные данные занести в таблицу 5.5.

Таблица 5.5 – Экспериментальные данные

№ п/п	Ультразвуковой датчик	Рулетка (линейка)
	X, м	X, м
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

5.4 Контрольные вопросы:

1. Назначение и особенности схем включения потенциметрических датчиков.
2. Получите аналитические выражения для статических характеристик простейших схем ненагруженного и нагруженного потенциметрического датчика.
3. Определите аналитически и получите графически абсолютную и относительную ошибки потенциметрических датчиков.
4. Назовите основные отказы потенциметрических датчиков и укажите методы повышения их надежности.
5. Назовите достоинства и недостатки потенциметрических датчиков.

Лабораторная работа №6

«Статические характеристики датчиков углового положения»

6.1 Цель работы

Изучить принцип работы и исследовать характеристики датчиков углового положения.

6.2 Краткие теоретические сведения

Подстроечный резистор - переменный резистор, предназначенный для подстройки параметров электрической цепи, у которого число перемещений подвижной системы значительно меньше, чем у регулировочного резистора.

Изменением сопротивления цепи, в которую включен переменный резистор, возможно достичь изменения величины тока и напряжения. При необходимости изменения тока и напряжения в небольших пределах переменный резистор включают в цепь параллельно или последовательно. Для получения значений тока и напряжения от нуля до максимального значения применяется потенциометрическое включение переменного резистора, являющегося в данном случае регулируемым делителем напряжения.

Датчик угла поворота (ДУП) – устройство, предназначенное для преобразования угла поворота вращающегося объекта (вала) в электрические сигналы, позволяющие определить угол его поворота. Датчики угла поворота имеют множество применений. Они широко применяются в промышленности (в частности в сервоприводах), в роботостроении, в автомобилестроении (например для определения угла поворота рулевого колеса), в компьютерной технике (для определения угла поворота колеса компьютерной мыши) и т.п.

6.3 Порядок выполнения работы

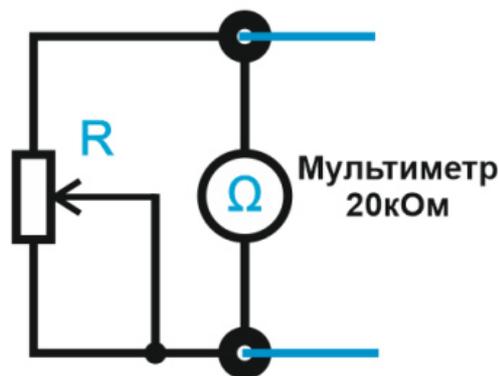
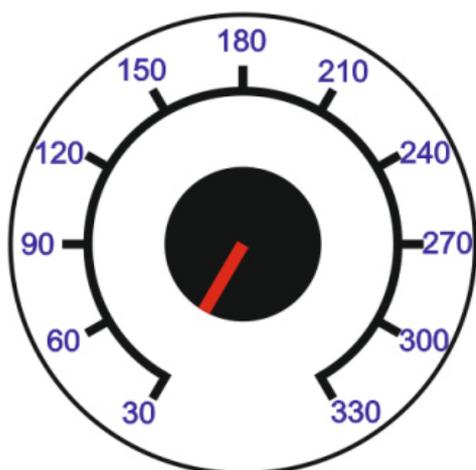
6.3.1 Исследование потенциометра

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить мультиметр к гнездам потенциометра (рисунок 6.1).

Выставить предел измерения 20 кОм.

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.



R – Сопротивление; Ω – Омметр

Рисунок 6.1 – Схема подключения мультиметра для исследования потенциометра

Регулятором потенциометра изменять угол поворота α и регистрировать показания сопротивления R. Полученные данные занести в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 – Экспериментальные данные

№ п/п	$\alpha, ^\circ$	R, Ом
1.	30	
2.	60	
3.	90	
4.	120	
5.	150	
6.	180	
7.	210	
8.	240	

Построить характеристику $R=f(\alpha)$

По окончании работы перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение и отключить мультиметр.

6.3.2 Исследование угла поворота цифрового датчика

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

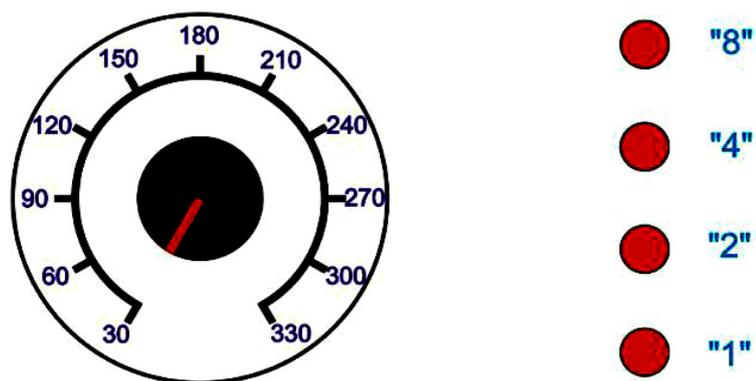


Рисунок 6.2 – Схема для исследования цифрового датчика угла поворота

Регулятором переключателя изменять угол поворота α и регистрировать показания комбинаций светодиодов N. Полученные данные занести в таблицу 6.2.

Таблица 6.2 – Экспериментальные данные

№ п/п	$\alpha, ^\circ$	Комбинация светодиодов, N
1.	30	1
2.	60	2
3.	90	3
4.	120	4
5.	150	5
6.	180	6
7.	210	7
8.	240	8
9.	270	9
10.	300	10
11.	330	11

Построить характеристику $N=f(\alpha)$.

По окончании работы перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение.

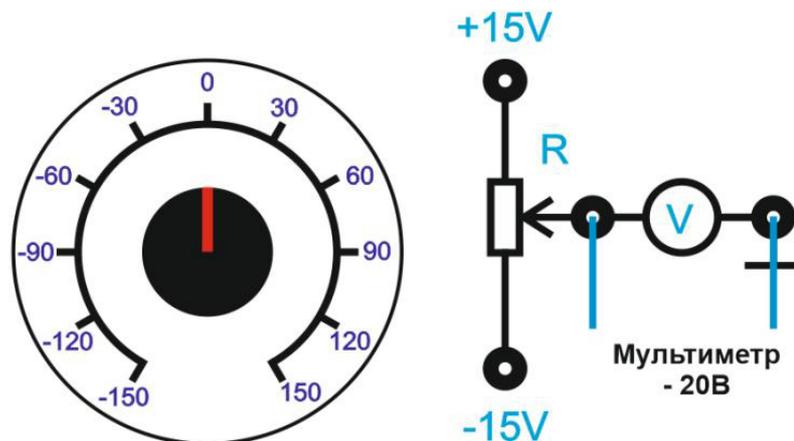
6.3.3 Исследование делителя напряжения

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить мультиметр к гнездам делителя напряжения (рисунок 6.3).

Выставить предел измерения 20 В постоянного напряжения.

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.



R – сопротивление; V – вольтметр

Рисунок 6.3 – Схема подключения мультиметра для исследования делителя напряжения

Регулятором потенциометра изменять угол поворота α и регистрировать показания напряжения U . Полученные данные занести в таблицу 6.3.

Таблица 6.3 – Экспериментальные данные

№ п/п	$\alpha, ^\circ$	$U, В$
1.	-120	
2.	-90	
3.	-60	
4.	-30	
5.	0	
6.	30	
7.	60	
8.	90	
9.	120	

Построить характеристику $U=f(\alpha)$.

По окончании работы перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение и отключить мультиметр.

6.4 Контрольные вопросы:

1. Назначение датчика угловых скоростей.
2. Основные технические характеристики ДУСУ.
3. Состав лабораторного стенда.
4. Назначение коммутационной и контрольно-проверочной аппаратуры.
5. Методика выполнения экспериментальной части лабораторной работы.

Лабораторная работа №7

«Статическая характеристика датчика давления»

7.1 Цель работы

Изучить устройство, принцип работы и исследовать статическую характеристику датчика давления.

7.2 Краткие теоретические сведения

Датчик давления – устройство, физические параметры которого изменяются в зависимости от давления измеряемой среды (жидкость, газ, пар). В датчиках, давление измеряемой среды, преобразуется в унифицированный пневматический, электрический сигналы или цифровой код.

Датчик давления состоит из первичного преобразователя давления, в составе которого чувствительный элемент - приемник давления, схемы вторичной обработки сигнала, различных по конструкции корпусных деталей, в том числе для герметичного соединения датчика с объектом и защиты от внешних воздействий и устройства вывода информационного сигнала. Основными отличиями одних приборов от других являются пределы измерений, динамические и частотные диапазоны, точность регистрации давления, допустимые условия эксплуатации, массогабаритные характеристики, которые зависят от принципа преобразования давления в электрический сигнал: тензометрический, пьезорезистивный, емкостной, индуктивный, резонансный, ионизационный, пьезоэлектрический и другие.

7.3 Порядок выполнения работы

Подключить стенд к однофазной сети переменного тока 220 В, 50 Гц.

Подключить мультиметр к гнездам датчика давления (рисунок 7.1).

Выставить предел измерения 200 мВ постоянного напряжения.

Перевести автоматический выключатель «СЕТЬ» в верхнее положение.

Убедиться, что регулятор давления закрыт. Для этого вытянуть ручку на себя и повернуть влево до упора. Затем потянуть ручку регулятора давления от себя, убедится, что ручка зафиксирована.

Перевести переключатель SB5 в верхнее положение, для включения воздушного компрессора.

Внимание!!! Не включать компрессор более чем на 10 минут. После каждого опыта делать перерыв 20 минут для охлаждения компрессора.

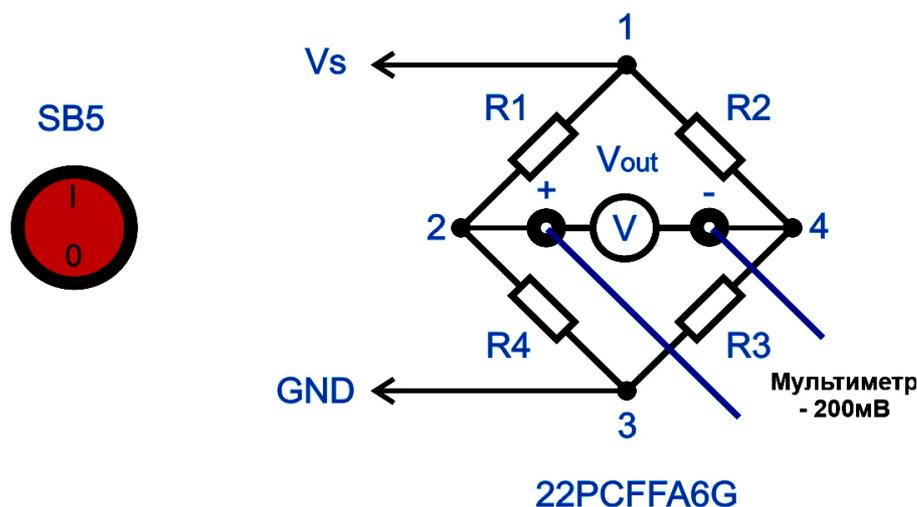


Рисунок 7.1 – Схема подключения мультиметра для исследования датчика давления

Регистрировать по манометру давление P_1 , а по мультиметру напряжение U датчика давления. Полученные данные занести в таблицу 7.1.

Таблица 7.1 – Экспериментальные данные

№ п/п	P_1 , Bar	U , мВ	P_2 , Bar
1.			
2.			
3.			
4.			
5.			

Рассчитать значения давления датчика P_2 , если $1\text{PSI} = 2,3\text{ мВ}$. Сравнить значения P_1 и P_2 . PSI – внесистемная единица измерения давления. Используется в США. $1\text{PSI} = 6894,75729\text{ Па}$.

Построить статическую характеристику $U=f(P_2)$.

По окончании работы перевести переключатель SB5 в нижнее положение, автоматический выключатель «СЕТЬ» в нижнее положение и отключить мультиметр.

7.4 Контрольные вопросы:

1. Назначение датчика угловых скоростей.
2. Основные технические характеристики ДУСУ.
3. Состав лабораторного стенда.
4. Назначение коммутационной и контрольно-проверочной аппаратуры.

8 Самостоятельная работа студентов (СРС)

Цель самостоятельной работы студентов – закрепление теоретических материалов при помощи рассмотрения и решения задач, имеющих практический смысл при освоении технологий и методов измерений, а также приборов.

При выполнении самостоятельной работы необходимо руководствоваться следующим:

а) по 1 теме выполняется 1 задача 1.х, где х - последняя цифра зачетной книжки студента;

б) по 2 теме выполняется 1 задача 2.х, где х - предпоследняя цифра зачетной книжки студента;

в) по 3 теме выполняется 1 задача 3.х, где х - последняя цифра зачетной книжки студента;

г) по 4 теме выполняется 1 задача 4.х, где предпоследняя цифра зачетной книжки студента.

Тема 1. Измерение температуры

1.1 Определите изменение показаний манометрического газового термометра, вызванное увеличением температуры капилляра на 40 и пружины на 10 °С относительно градуировочного значения 20 °С при следующих условиях: объем капилляра $V_K=1,9 \text{ см}^3$, объем манометрической пружины $V_{II}=1,5 \text{ см}^3$, объем термобаллона $V_6=140 \text{ см}^3$.

1.2 Оцените изменение показаний манометрического газового термометра за счет изменения температуры внешней среды на 30 °С, если известно соотношение объемов капилляра V_K , пружины V_{II} и баллона V_6 :

$$\frac{(V_K + V_{II})}{V_6} = 0,01$$

1.3 Определите, какое начальное давление должно быть создано в системе манометрического газового термометра при 0 °С, чтобы при изменении температуры от 0 до 500 °С давление в системе изменялось на 10 МПа. Термический коэффициент расширения газа $\beta=0,0036 \text{ К}^{-1}$.

1.4 Будет ли изменяться термо-ЭДС термоэлектрического термометра типа ХК при изменении температуры рабочего конца, но при сохранении

разности температур рабочего конца и свободных концов, если E_1 (300, 50 °С) и E_2 (600, 350 °С)?

1.5 Введите поправку в показания термоэлектрического термометра и определите температуру рабочего конца, если известно, что термо-ЭДС термометра типа S (платинородий – платиновый) равна 3,75 мВ, а температура свободных концов 32 °С.

1.6 Термоэлектрический термометр типа S (платинородий – платиновый) подключен к измерительному прибору медными проводами. Температура рабочего конца 700 °С, свободных 20 °С. Изменится ли термо-ЭДС, если температура места подключения медного провода к платинородиевому термоэлектроду увеличилась до 100 °С, а медного провода к платиновому термоэлектроду осталась равной 20 °С.

1.7. Температура пара измеряется термоэлектрическим термометром типа К, который с помощью удлиняющих термоэлектродных проводов подключен к милливольтметру. Милливольтметр установлен в помещении блочного щита, имеющего температуру 20 °С. Сопротивление милливольтметра 323 Ом, термометра в рабочих условиях 0,35 Ом. Подгонка сопротивления внешней линии до значения 5 Ом осуществляется при температуре 20 °С. Сопротивление удлиняющих термоэлектродных проводов 3,47 Ом при общей длине 150 м (в том числе 3 м внутри блочного щита).

Оцените относительное изменение показаний милливольтметра, вызванное изменением температуры проводов от 20 до 65 °С. Температурный коэффициент электрического сопротивления проводов $\alpha = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

1.8 Термоэлектрический термометр типа S (длина термоэлектродов 2 м, диаметр 0,5 мм) подключен к пирометрическому милливольтметру, отградуированному на внешнее сопротивление 5 Ом, при глубине погружения термометра 0,5 м в среду с температурой 1000 °С. Остальная часть термометра находилась при температуре 40 °С. Изменяются ли показания милливольтметра, если глубину погружения увеличить до 1,5 м. Внутреннее сопротивление милливольтметра 195 Ом. Сопротивление 1 м платинового термоэлектрода при температуре 40 °С сопротивление $R_1=0,579$ Ом, при температуре 1000 °С сопротивление $R_2=2,199$ Ом. Соответственно, для платинородиевого термоэлектрода $R_1 = 1,033$ Ом и $R_2= 2,394$ Ом.

1.9 Одинаковы ли значения сопротивления медного резистора R_M у потенциометров КСП-4 с диапазоном измерения $-50^\circ \dots +100^\circ\text{C}$? Если токи схемы для всех потенциометров одинаковы.

1.10 Медный термометр сопротивления имеет сопротивление при 20°C $R_{20}=1,75$ Ом. Определите его сопротивление при 100 и 150°C . Температурный коэффициент $\alpha = 4,26 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$.

Тема 2. Измерение давления

2.1 Определите цену деления чашечного манометра в единицах давления, если он заполнен ртутью. Диаметр минусовой трубки 6 мм, диаметр плюсового сосуда 60 мм. Деления на шкале нанесены через 1 мм. Условия измерения: $t = 0^\circ\text{C}$; $g = 980,665 \text{ м/с}^2$.

2.2 Рассчитайте, каким должно быть соотношение между диаметрами плюсового и минусового сосудов чашечного манометра, чтобы при отсчете уровня жидкости только в минусовом сосуде погрешность измерения разности давления не превосходила $0,1\%$.

2.3 Определите цену деления спиртового микроманометра с наклонной трубкой, если диаметр трубки 4 мм, диаметр плюсового сосуда 70 мм, угол наклона трубки микроманометра $48^\circ 23'$, плотность спирта (концентрация 96%) в условиях градуировки при 20°C $\rho_{20} = 808 \text{ кг/м}^3$. Расстояние между отметками шкалы равно 1 мм. Ускорение свободного падения – нормальное ($g = 9.81 \text{ м/с}^2$).

Определите поправочный множитель на изменение плотности спирта, если микроманометр работает при температуре 35°C ($\rho_{35} = 793 \text{ кг/м}^3$).

2.4 Определите погрешность манометра с токовым выходным сигналом ($0 \dots 5$ мА) с пределами измерения $0 \dots 4$ МПа, если при измерении давления $3,2$ МПа выходной сигнал $F_{\text{вых}} = 3,93$ мА.

2.5 Определите погрешность манометра с пневматическим выходным сигналом ($0,02 \dots 0,1$ МПа) и пределом измерения $0 \dots 0,6$ МПа, если при давлении $0,45$ МПа значение выходного сигнала составило $0,084$ МПа.

2.6 Манометр, измеряющий давление пара, установлен на 5 м ниже точки отбора. Манометр показывает $P=5$ МПа, среднее значение температуры конденсата в импульсной линии $t=60^\circ\text{C}$. Определить действительное значение

давления пара в паропроводе. Плотность воды при указанных температуре и давлении составляет $\rho = 985,4 \text{ кг/м}^3$

2.7 Какой должна быть жесткость пружины в колокольном дифманометре с пружинным уравниванием, чтобы изменение перепада давления от 0 до 1,6 кПа вызывало перемещение колокола на 4 мм? Диаметр колокола 50 мм.

2.8 Влияет ли плотность жидкости, заполняющей колокольный дифманометр, на его диапазон измерения? Обосновать ответ.

2.9 Рассчитайте вес уравнивающего груза кольцевого дифманометра с диапазоном измерения 0...4 кПа. Средний диаметр кольца 100 мм, сечение кольца 12,8 см, расстояние от оси вращения кольца до центра тяжести грузов 65 мм. Максимальный угол поворота 50° .

2.10 В схеме напоромера с унифицированным токовым выходным сигналом при давлении $P=0$ и силе тока $I=0$ катушка обратной связи находится в каком-то начальном положении. Определить, должна ли катушка втягиваться в магнитопровод при увеличении или, наоборот, выталкиваться для обеспечения компенсации усилий.

Тема 3. Измерение уровня

3.1 Уровень воды в емкости измеряется гидростатическим способом. Максимальный уровень $H_{\text{макс}} = 400$ мм. Оцените относительную погрешность измерения максимального уровня, вызванную изменением уровня воды в минусовой импульсной трубке мембранного дифманометра. Внутренний диаметр импульсных трубок $d=10$ мм. При изменении уровня от 0 до $H_{\text{макс}}$ происходит изменение объема минусовой камеры дифманометра на $\Delta V=4$ см. При $H=0$ уровни воды в обеих импульсных трубках равны. Температура окружающей среды и воды в емкости и трубках $t = 20^\circ\text{C}$.

3.2 Уровень воды в открытой емкости измеряется дифманометром уровнемером. Уровнемер градуировался при температуре воды в емкости и импульсных трубках 30°C . Изменяются ли показания уровнемера, если температура воды в емкости увеличилась до 90°C , а температура воды в импульсных линиях осталась 30°C .

3.3 В цилиндрическом вертикальном стальном резервуаре-хранилище диаметром 12 м и высотой 10 м находится керосин. При температуре 30°C высота уровня керосина составляет 8,5 м. Изменяются ли показания гидростатического уровнемера и изменится ли действительный уровень

керосина, если температура окружающего воздуха и резервуара вместе с керосином будет $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

3.4 Пьезометрический уровнемер измеряет уровень щелочи в выпарном аппарате. Определите давление воздуха в источнике питания и примерный часовой расход воздуха при максимальном уровне. Максимальная плотность раствора щелочи $\rho_{\text{щ}}=1280\text{ кг/м}^3$. Диапазон изменения уровня $0\dots400\text{ мм}$, внутренний диаметр пневмометрической трубки $d=6\text{ мм}$, температура жидкости в аппарате $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, абсолютное давление в аппарате 16 кПа .

3.5 Рассчитайте емкость и коэффициент преобразования измерительного преобразователя емкостного уровнемера, предназначенного для измерения уровня в баках-хранилищах керосина, от нулевого до максимального значения $H_{\text{макс}} = 8\text{ м}$.

Емкостный преобразователь состоит из полого металлического цилиндра диаметром $D=60\text{ мм}$ (внешний электрод), внутри которого коаксиально расположен металлический тросик диаметром $d=1,5\text{ мм}$, покрытый слоем изоляции толщиной $b=1\text{ мм}$ (внутренний электрод). Длина преобразователя $l=8\text{ м}$, емкость конструктивных элементов $C_0=75\text{ мкФ}$. Относительная диэлектрическая проницаемость паров керосина $\epsilon_n=1$, керосина $\epsilon_k=2,1$, изоляционного покрытия тросика $\epsilon_h=4,2$.

3.6 Зависит ли коэффициент преобразования емкостного преобразователя уровнемера от соотношения диэлектрических проницаемостей жидкости $\epsilon_{\text{ж}}$ и ее паров ϵ_n ? Жидкость неэлектропроводна. Преобразователь представляет собой металлический цилиндр диаметром D и длиной l , внутри которого коаксиально расположен металлический неизолированный трос диаметром d .

3.7 Оцените погрешность емкостного уровнемера, вызванную изменением температуры проводящей жидкости на $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, для измерительной схемы без автоматического введения поправки на изменение диэлектрической проницаемости. Емкость конструктивных элементов измерительного преобразователя $C_0=82\text{ мкФ}$, погонная геометрическая емкость системы в воздухе $C_n=240\text{ мкФ/м}$, диэлектрическая проницаемость жидкости $\epsilon_{\text{ж}}=18$, изменение $\epsilon_{\text{ж}}$ с изменением температуры составляет $0,2\text{ \%}$, интервал изменения уровня h от 0 до 2 м , длина измерительного преобразователя $l=2\text{ м}$.

3.8 Можно ли применить емкостный преобразователь (задача 3.6) без переградуировки для измерения жидкости с $\epsilon_{\text{ж}}=20$?

3.9 Следует ли производить переградуировку следящего радиоизотопного уровнемера, если он был отградуирован на воде, а затем возникла необходимость измерять уровень жидкого хлора?

3.10 Рассчитайте плечо l подвеса буйка уровнемера, предназначенного для измерения уровня в сосуде под давлением в интервале $-250\dots+250$ мм относительно номинального значения (рисунок 8.1).

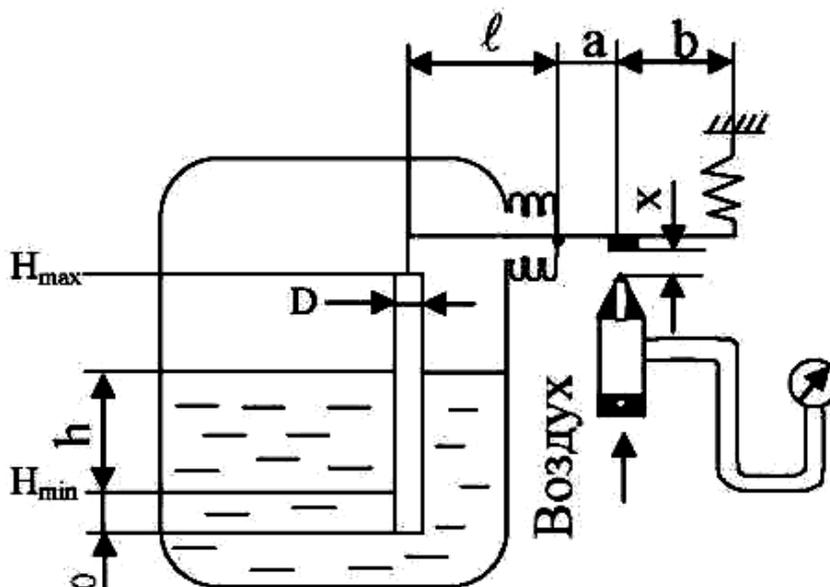


Рисунок 8.1 – Схема уровнемера

Плотность жидкости $\rho_{ж}=1300$ кг/м³, средняя объемная плотность буйка $\rho_{б}=2000$ кг/м³, диаметр буйка $D=20$ мм, максимальное перемещение заслонки относительно сопла $x=0,1$ мм, расстояние от сопла до точки опоры $a=20$ мм, расстояние от точки опоры до уравнивающей пружины $l=100$ мм, упругость пружины $W=20$ Н/мм, начальная сила натяжения пружины $F_0=10$ Н. Расстояние от точки опоры до места подвеса буйка l может устанавливаться в пределах от 0,2 до 1,5 м.

Тема 4. Измерение расхода

4.1 При установке диафрагмы в трубопроводе предполагалось, что номинальный расход среды составляет 230 т/ч, диафрагма была рассчитана на $Q_{max}=250$ т/ч, а дифманометр – на $\Delta p_{max}=4$ кПа. Однако в процессе эксплуатации выяснилось, что расход среды будет равен 380 т/ч. Сменить диафрагму не представляется возможным.

Подберите дифманометр, с помощью которого можно было бы измерить расход 380 т/ч.

4.2 Расход воды в трубопроводе диаметром $D=80$ мм измеряется бронзовой диафрагмой с отверстием диаметром $d=58$ мм. Температура воды $150\text{ }^{\circ}\text{C}$, давление воды 2 МПа, перепад давления на диафрагме $0,04$ МПа.

Определите, как изменится действительное значение расхода, если температура воды станет $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Диаметр трубопровода, коэффициент расхода и перепад давления на диафрагме считаем неизменными.

4.3 Через диафрагму, установленную в трубопроводе, протекает сернистый газ, расходные характеристики для которого были получены при нормальных условиях: $t_H=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P_H=101,322$ кПа и влажности $\varphi_H=0$. Однако в реальных условиях $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P=0,13$ МПа и $\varphi=30\%$.

Определите поправочный коэффициент для пересчета показаний расходомера на нормальные условия.

4.4 Расход воды, протекающей по трубопроводу $D=200$ мм, составляет $Q_M=100$ т/ч. Относительная площадь диафрагмы $m=0,5$ м², давление воды $P=10$ МПа, температура $t=200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определите значение перепада давления на сужающем устройстве.

4.5 По трубопроводу протекает вода при $P=100$ кгс/см² и $t=200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Предельный расход воды $Q_{Mn}=100$ т/ч. Диаметр трубопровода при $t=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $D_{20}=200$ мм. В трубопроводе установлены диафрагма и сопло. Относительные площади их таковы, что при указанном расходе перепад давления на обоих сужающих устройствах одинаков и равен 400 кгс/см².

Имеет ли в этом случае какое-либо из указанных сужающих устройств преимущество, если на трубопроводе перед сужающими устройствами установлены колена?

4.6 На трубопроводе с диаметром $D=200$ мм перед конфузуром необходимо установить регулирующий вентиль. Коэффициент уменьшения относительной площади конфузуратора $m=0,6$.

Определите необходимую длину прямого участка, а также возможное уменьшение необходимой длины за счет уменьшения относительной площади сужающего устройства до $m=0,45$.

4.7 Рассмотрим схему (рисунок 8.2) измерения расхода перегретого пара. Сосуд 1 внутренним диаметром $d_1=100$ мм подключен к месту отбора давления перед соплом, такой же сосуд 2 служит для отбора давления после сужающего устройства. Сосуды подключены к мембранному дифманометру импульсными

трубками внутренним диаметром $d_2=10$ мм. При нулевом расходе обе импульсные трубки и сосуды заполнены конденсатом до одинакового уровня, линией 0-0. Предположим, что расход увеличился от нуля до $Q_{\max}=10$ т/ч, при этом перепад давления на сопле составляет $\Delta P_{\max}=10$ кПа, изменение объема камер дифманометра, соответствующее этому перепаду, $\Delta V=4$ см³. Плотность конденсата в импульсных трубках $\rho=1000$ кг/м³. Определите погрешность показаний расходомера, вызванную разницей уровней в импульсных трубках.

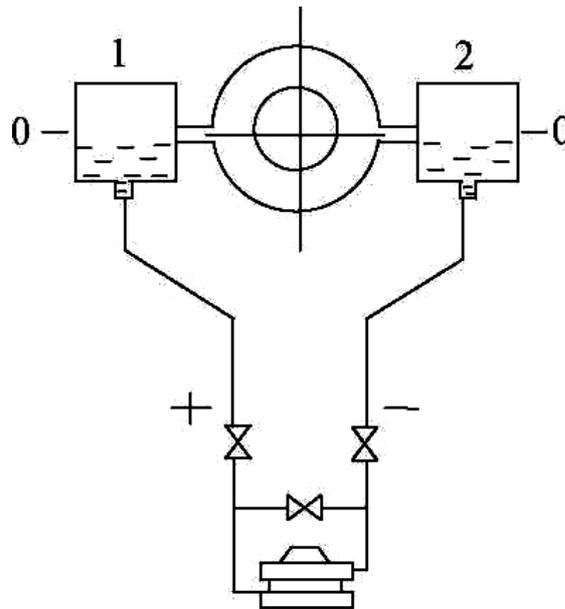


Рисунок 8.2 – Схема измерения расхода перегретого пара

4.8 Определите размеры разделительных сосудов для поплавкового дифманометра.

Диаметры поплавкового и сменного сосудов соответственно равны $D_{\text{п}}=78$ мм и $D_{\text{см}}=13,83$ мм. Измеряемая среда – соляная кислота ($P=108$ кПа; $t=20$ °С и $\rho_{\text{р.к}}=1560$ кг/м³). Разделительная жидкость – трансформаторное масло ($\rho_{\text{р.с}}=880,3$ кг/м³). Температура разделительных сосудов и дифманометра 20 °С. Уравновешивающая жидкость – ртуть. При температуре 20 °С плотность ртути $\rho_{\text{г}}=13546$ кг/м³.

4.9 Измеряемая среда – перегретый пар (избыточное давление $P=10$ МПа; $t=510$ °С). Предельный массовый расход $Q_{\text{м.пр}}=250000$ кг/ч, диаметр трубопровода $D_{20}=217$ мм, сужающее устройство – сопло, с коэффициентом сужения $m=0,568$. Дифманометр поплавковый, ртутный, класс точности 1,5 на перепад давления $\Delta p_{\text{н}}=160$ кПа. Давление измеряется манометром со шкалой 0...16 МПа класса 1,5, погрешность измерения температуры $\Delta t=\pm 5$ °С. Плотность пара в рабочих условиях равна $\rho=29,35$ кг/м³. Перед соплом

находится полностью открытый запорный вентиль на расстоянии 4,4 м, за соплом имеется колено на расстоянии 2 м. Отбор давления осуществляется с помощью кольцевых камер.

Определите предельную погрешность измерения предельного расхода.

4.10 Для измерения ЭДС электромагнитного расходомера предполагается использовать милливольтметр со шкалой 0...20 мВ и входным сопротивлением $R_{mb}=200$ Ом; ЭДС расходомера 15 мВ, измеряемая среда – вода, сопротивление воды между электродами преобразователя $R=10$ мОм.

Определите погрешность измерения ЭДС (погрешностью самого милливольтметра пренебрегаем).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Клаассен К. Б. Основы измерений. Датчики и электронные приборы: Учебное пособие / К.Б. Клаассен, Е.В. Воронов, А.Л. Ларин, - 4-е изд. - Долгопрудный: Интеллект, 2012. - 352 с.: 70x100 1/16 ISBN 978-5-91559-125-6.
2. Мак-Махон Д. Аналитические приборы: Руководство по лабораторным, портативным и миниатюрным приборам / Д. Мак-Махон; Под ред. Москвин Л.Н. - СПб: Профессия, 2013. - 352 с.: 70x100 1/16 ISBN 978-5-93913-193-3.
3. Ткаченко Ф. А. Электронные приборы и устройства: Учебник/ Ткаченко Ф.А. - М.: ИНФРА-М Издательский Дом, Нов. знание, 2017. - 682 с.: 60x90 1/16. - (Высшее образование) ISBN 978-5-16-004658-7.
4. Фролов В. А. Электронная техника. Ч.1 Электронные приборы и устройства: Учебник / Фролов В.А. - М.: ФГБУ ДПО «УМЦ ЖДТ», 2015. - 532 с.: ISBN 978-5-89035-835-6

