

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ  
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ

«БРАТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра управления в технических системах



СЕРТИФИЦИРУЮ:

Профессор по учебной работе

Е.И. Луковникова

мая 2019 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ**

**Б1.В.08**

**НАПРАВЛЕНИЕ ПОДГОТОВКИ**

**27.03.04 Управление в технических системах**

**ПРОФИЛЬ ПОДГОТОВКИ**

**Управление и информатика в технических системах**

Программа академического бакалавриата

Квалификация (степень) выпускника: бакалавр

Программа составлена в соответствии с федеральным государственным образовательным стандартом высшего образования по направлению подготовки 27.03.04 Управление в технических системах от 20.10.2015 г № 1171 и учебным планом ФГБОУ ВО «БрГУ» от 01.04.2019 г № 196 для заочной формы обучения набора 2019 года

<b>1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ .....</b>	<b>3</b>
<b>3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ</b>	<b>4</b>
3.1 Распределение объёма дисциплины по формам обучения.....	4
3.2 Распределение объёма дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости .....	4
<b>4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>5</b>
4.1 Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий .....	5
4.2 Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам .....	7
4.3 Лабораторные работы.....	28
4.4 Семинары / практические занятия.....	28
4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат.....	28
<b>5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>29</b>
<b>6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ</b>	<b>30</b>
<b>7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>30</b>
<b>8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО – ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ .....</b>	<b>30</b>
<b>9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ.....</b>	<b>31</b>
9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/ семинаров / практических работ .....	31
<b>10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>43</b>
<b>11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ .....</b>	<b>43</b>
<b>Приложение 1. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине.....</b>	<b>44</b>
<b>Приложение 2. Аннотация рабочей программы дисциплины .....</b>	<b>47</b>
<b>Приложение 3. Протокол о дополнениях и изменениях в рабочей программе .....</b>	<b>47</b>
<b>Приложение 4. Фонд оценочных средств для текущего контроля успеваемости по дисциплине.....</b>	<b>48</b>

# 1. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ, СООТНЕСЕННЫХ С ПЛАНИРУЕМЫМИ РЕЗУЛЬТАТАМИ ОСВОЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

## Вид деятельности выпускника

Дисциплина охватывает круг вопросов, относящихся к научно-исследовательскому виду профессиональной деятельности выпускника в соответствии с компетенциями и видами деятельности, указанными в учебном плане.

## Цель дисциплины

Обучение наиболее распространенным схемам измерения теплотехнических величин, подготовке и проведению измерений, обработке их результатов с применением современных информационных технологий и технических средств.

## Задачи дисциплины

Приобретение навыков и умений использования существующих средств измерения теплотехнических величин, проведения измерений и обработке их результатов.

Код компетенции	Содержание компетенций	Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине
1	2	3
ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	<b>знать:</b> приёмы и методы обработки и представления экспериментальных данных <b>уметь:</b> проводить измерения и обрабатывать экспериментальные данные <b>владеть:</b> навыками использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных
ПК-1	способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств	<b>знать:</b> принципы действия, устройство измерительной аппаратуры теплотехнических величин <b>уметь:</b> измерять теплотехнические величины и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств <b>владеть:</b> основными методами измерений и обработки результатов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

Дисциплина Б1.В.08 Технические измерения относится к вариативной части.

Дисциплина Технические измерения базируется на знаниях, полученных при изучении дисциплин: Б1.Б.06 Физика, Б1.Б.10 Электротехника и электроника.

Основываясь на изучении перечисленных дисциплин, Технические измерения представляют основу для изучения дисциплин: Б1.Б.17 Метрология и измерительная техника, Б1.Б.16 Технические средства автоматизации и управления, Б1.В.ДВ.11.01 Проектирование автоматизированных систем.

Такое системное междисциплинарное изучение направлено на достижение требуемого ФГОС уровня подготовки по квалификации бакалавр.

### 3. РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОБЪЕМА ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение объема дисциплины по формам обучения

Форма обучения	Курс	Семестр	Трудоемкость дисциплины в часах						Курсовая работа (проект), контрольная работа, реферат, РГР	Вид промежуточной аттестации
			Всего часов (с экз.)	Аудиторных часов	Лекции	Лабораторные работы	Практические занятия	Самостоятельная работа		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Очная	2	4	180	90	36	36	18	90	-	Экзамен
Заочная	3	-	180	18	6	6	6	162	-	Экзамен
Заочная (ускоренное обучение)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Очно-заочная	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

#### 3.2. Распределение объема дисциплины по видам учебных занятий и трудоемкости

Вид учебных занятий	Трудоемкость (час.)	в т.ч. в интерактивной, активной, инновационной формах, (час.)	Распределение по семестрам, час
			4
1	2	3	4
<b>I. Контактная работа обучающихся с преподавателем (всего)</b>	90	11	90
Лекции (Лк)	36	6	36
Лабораторные работы (ЛР)	36	5	36
Практические занятия (ПЗ)	18		18
Групповые (индивидуальные) консультации	+		+
<b>II. Самостоятельная работа обучающихся (СР)</b>	54	-	54
Подготовка к лабораторным работам	13	-	13
Подготовка к практическим занятиям	13		13
Подготовка к экзамену в течение семестра	14	-	14
<b>III. Промежуточная аттестация экзамен</b>	36	-	36
Общая трудоемкость дисциплины ..... час.	180	-	180
зач. ед.	5	-	5

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1. Распределение разделов дисциплины по видам учебных занятий

для очной формы обучения:

№ раздела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоемкость, (час.)	Виды учебных занятий, включая самостоятельную работу обучающихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самостоятельная работа обучающихся
			лекции	лабораторные работы	практические занятия	
<b>1.</b>	<b>Метрологические основы технических измерений</b>	<b>25</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>10</b>
1.1.	Средства измерений и их классификация	9	2	4	-	3
1.2.	ГСП. Принципы построения ГСП.	5	2	-	-	3
1.3.	Измерительный преобразователь и их классификация	11	3	4	-	4
<b>2.</b>	<b>Измерение температуры</b>	<b>36</b>	<b>8</b>	<b>12</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
2.1.	Общие сведения об измерении температуры.	15	3	6	2	4
2.2.	Средства измерения температуры.	21	5	6	3	7
<b>3.</b>	<b>Измерение давления и разности давлений</b>	<b>31</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>5</b>	<b>11</b>
3.1.	Общие сведения об измерении давления	12	2	4	2	4
3.2.	Средства измерения давления	19	5	4	3	7
<b>4.</b>	<b>Измерение количества и расхода вещества</b>	<b>30</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>4</b>	<b>11</b>
4.1.	Общие сведения об измерении количества и расхода вещества	12	2	4	2	4
4.2.	Средства измерения количества и расхода вещества	18	5	4	2	7
<b>5.</b>	<b>Измерение уровня</b>	<b>22</b>	<b>7</b>	<b>-</b>	<b>4</b>	<b>11</b>
5.1.	Общие сведения об измерении уровня	8	2	-	2	4
5.2.	Средства измерения уровня	14	5	-	2	7
	<b>ИТОГО</b>	<b>144</b>	<b>36</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>54</b>

- для заочной формы обучения:

№ раз- дела и темы	Наименование раздела и тема дисциплины	Трудоем- кость, (час.)	Виды учебных занятий, включая са- мостоятельную работу обучаю- щихся и трудоемкость; (час.)			
			учебные занятия			самосто- ятельная работа обучаю- щихся
			лекции	лабора- торные работы	практи- ческие занятия	
<b>1.</b>	<b>Метрологические основы технических измерений</b>	<b>31</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>30</b>
1.1.	Средства измерений и их клас- сификация	10,3	0,3	-	-	10
1.2.	ГСП. Принципы построения ГСП.	10,3	0,3	-	-	10
1.3.	Измерительный преобразова- тель и их классификация	10,4	0,4	-	-	10
<b>2.</b>	<b>Измерение температуры</b>	<b>40</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>33</b>
2.1.	Общие сведения об измерении температуры.	16	1	1	1	13
2.2.	Средства измерения температу- ры.	24	1	2	1	20
<b>3.</b>	<b>Измерение давления и раз- ности давлений</b>	<b>36</b>	<b>1</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>30</b>
3.1.	Общие сведения об измерении давления	12,5	0,5	1	1	10
3.2.	Средства измерения давления	23,5	0,5	2	1	20
<b>4.</b>	<b>Измерение количества и расхода вещества</b>	<b>32</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>30</b>
4.1.	Общие сведения об измерении количества и расхода вещества	11	0,5	-	0,5	10
4.2.	Средства измерения количества и расхода вещества	21	0,5	-	0,5	20
<b>5.</b>	<b>Измерение уровня</b>	<b>32</b>	<b>1</b>	<b>-</b>	<b>1</b>	<b>30</b>
5.1.	Общие сведения об измерении уровня	11	0,5	-	0,5	10
5.2.	Средства измерения уровня	21	0,5	-	0,5	20
	<b>ИТОГО</b>	<b>171</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>153</b>

## 4.2. Содержание дисциплины, структурированное по разделам и темам

### РАЗДЕЛ 1. МЕТРОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ

#### 1.1. Средства измерений и их классификация

Средство измерений (СИ) - техническое средство, предназначенное для измерений, имеющее нормированные метрологические характеристики, воспроизводящее и хранящее единицу физической величины, размер которой принимается неизменным в пределах установленной погрешности в течение известного интервала времени.

1. По функциональному назначению СИ подразделяются на:

- мера - средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения физической величины заданного размера.

- измерительный прибор - средство измерений, предназначенное для получения значений измеряемой физической величины в установленном диапазоне в форме, удобной для наблюдателя. По способу представления информации ИП делятся на показывающие и регистрирующие. Различают приборы прямого действия и приборы сравнения;

- измерительный преобразователь - техническое средство, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или сигнал измерительной информации, удобной для обработки, хранения, дальнейшего преобразования, индикации или передачи. По характеру преобразования различают: аналоговые, цифро-аналоговые, аналого-цифровые преобразователи. По месту в измерительной цепи различают:

- а) первичный измерительный преобразователь (датчик) - измерительный преобразователь, на который непосредственно воздействует измеряемая физическая величина;

- б) передающий измерительный преобразователь - измерительный преобразователь, предназначенный для дистанционной передачи сигнала измерительной информации;

- в) масштабный измерительный преобразователь - измерительный преобразователь, предназначенный для изменения размера величины в заданное число раз.

2. По уровню автоматизации СИ подразделяются на:

- неавтоматизированное СИ - не имеет устройств для автоматического выполнения измерений и обработки их результатов;

- автоматизированное СИ - производит в автоматическом режиме одну или часть измерительных операций;

- автоматическое СИ - производит в автоматическом режиме измерения и все операции, связанные с обработкой результатов измерений, их регистрацией, передачей данных или выработкой управляющего сигнала.

3. По метрологическому назначению СИ подразделяются на:

- рабочее СИ - предназначено для всех видов измерений, не связанных с передачей размера единицы другим СИ.

- метрологическое СИ - предназначено для метрологических целей: воспроизведения и хранения единицы, передачи размера единицы рабочим СИ. К ним относят эталоны, образцовые СИ, стандартные образцы.

4. По отношению к измеряемой физической величине различают:

- основное - СИ той физической величины, значение которой необходимо получить в соответствии с измерительной задачей;

- вспомогательное - СИ той физической величины, влияние которой на основное средство измерений или объект измерений необходимо учесть для получения результатов измерений требуемой точности.

#### 1.2. ГСП. Принципы построения ГСП.

ГСП - Государственная система промышленных приборов и средств автоматизации, совокупность устройств получения, передачи, хранения, обработки и представления информации о состоянии и ходе различных процессов и выработки управляющих воздействий на них. ГСП состоит из унифицированных элементов, модулей и блоков, допускающих информационное, энергетическое и конструктивное сопряжение в агрегатных комплексах и автоматизированных системах управления. В ГСП входят электрические, пневматические и гидравлические приборы и устройства в обыкновенном, виброустойчивом, герметичном, пыле- и влагозащищённом исполнении.

ГСП основывается на след. принципах:

1. Типизация реализуемых средств ГСП функцией.

2. Минимизация номенклатуры входящих в систему средств.
3. Всесторонняя регламентация требований к техническим средствам систем.

Измеряемые и регулируемые в ГСП величины делятся на:

1. величины пространства и времени.
2. механические величины.
3. электрические и магнитные величины.
4. тепловые и световые.

ГСП охватывает:

1. Формирование носителей информации о значениях характеристик управления (датчики, преобразователи).
2. Нормирование сигналов (приведения к стандартному виду и диапазону измерений).
3. Функцион. преобразование в аналоговой и цифровой форме.
4. Коммутация, АЦП и ЦАП.
5. Реализация воздействия на объект.

Методологическая основа - система государственных стандартов. (устанавливает общие технические требования к входным и выходным сигналам, правила информационного сопряжения и конструктивного исполнения).

Техническая основа ГСП- агрегатные комплексы, каждый из которых представляет собой совокупность тех средств упорядоченных по функциям и параметрам.

### **1.3. Измерительный преобразователь и их классификация.**

Датчики (в литературе часто называемые также измерительными преобразователями), или по-другому, сенсоры являются элементами многих систем автоматики - с их помощью получают информацию о параметрах контролируемой системы или устройства.

Датчик – это элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства, преобразующий контролируемую величину (температуру, давление, частоту, силу света, электрическое напряжение, ток и т.д.) в сигнал, удобный для измерения, передачи, хранения, обработки, регистрации, а иногда и для воздействия им на управляемые процессы. Или проще, датчик – это устройство, преобразующее входное воздействие любой физической величины в сигнал, удобный для дальнейшего использования.

В зависимости от вида входной (измеряемой) величины различают: датчики механических перемещений (линейных и угловых), пневматические, электрические, расходомеры, датчики скорости, ускорения, усилия, температуры, давления и др.

По виду выходной величины, в которую преобразуется входная величина, различают неэлектрические и электрические: датчики постоянного тока (ЭДС или напряжения), датчики амплитуды переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики частоты переменного тока (ЭДС или напряжения), датчики сопротивления (активного, индуктивного или емкостного) и др.

По принципу действия датчики можно разделить на два класса: генераторные и параметрические (датчики-модуляторы). Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины в электрический сигнал.

Параметрические датчики входную величину преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика.

По принципу действия датчики также можно разделить на омические, реостатные, фотоэлектрические (оптико-электронные), индуктивные, емкостные и др.

Различают три класса датчиков:

- аналоговые датчики, т. е. датчики, вырабатывающие аналоговый сигнал, пропорционально изменению входной величины;
- цифровые датчики, генерирующие последовательность импульсов или двоичное слово;
- бинарные (двоичные) датчики, которые вырабатывают сигнал только двух уровней: "включено/выключено" (иначе говоря, 0 или 1); получили широкое распространение благодаря своей простоте.

Требования, предъявляемые к датчикам:

- однозначная зависимость выходной величины от входной;
- стабильность характеристик во времени;
- высокая чувствительность;
- малые размеры и масса;
- отсутствие обратного воздействия на контролируемый процесс и на контролируемый параметр;



- работа при различных условиях эксплуатации;
- различные варианты монтажа.

Параметрические датчики (датчики-модуляторы) входную величину  $X$  преобразуют в изменение какого-либо электрического параметра ( $R$ ,  $L$  или  $C$ ) датчика. Передать на расстояние изменение перечисленных параметров датчика без энергонесущего сигнала (напряжения или тока) невозможно. Выявить изменение соответствующего параметра датчика только и можно по реакции датчика на ток или напряжение, поскольку перечисленные параметры и характеризуют эту реакцию. Поэтому параметрические датчики требуют применения специальных измерительных цепей с питанием постоянным или переменным током.

Омические (резистивные) датчики – принцип действия основан на изменении их активного сопротивления при изменении длины  $l$ , площади сечения  $S$  или удельного сопротивления  $\rho$ .

Кроме того, используется зависимость величины активного сопротивления от контактного давления и освещённости фотоэлементов. В соответствии с этим омические датчики делят на: контактные, потенциометрические (реостатные), тензорезисторные, терморезисторные, фоторезисторные.

Контактные датчики — это простейший вид резисторных датчиков, которые преобразуют перемещение первичного элемента в скачкообразное изменение сопротивления электрической цепи. С помощью контактных датчиков измеряют и контролируют усилия, перемещения, температуру, размеры объектов, контролируют их форму и т. д. К контактным датчикам относятся путевые и концевые выключатели, контактные термометры и так называемые электродные датчики, используемые в основном для измерения предельных уровней электропроводных жидкостей.

Контактные датчики могут работать как на постоянном, так и на переменном токе. В зависимости от пределов измерения контактные датчики могут быть одно предельными и многопредельными. Последние используют для измерения величин, изменяющихся в значительных пределах, при этом части резистора  $R$ , включенного в электрическую цепь, последовательно закорачиваются.

Недостаток контактных датчиков — сложность осуществления непрерывного контроля и ограниченный срок службы контактной системы. Но благодаря предельной простоте этих датчиков их широко применяют в системах автоматики.

Реостатные датчики представляют собой резистор с изменяющимся активным сопротивлением. Входной величиной датчика является перемещение контакта, а выходной – изменение его сопротивления. Подвижный контакт механически связан с объектом, перемещение (угловое или линейное) которого необходимо преобразовать.

Наибольшее распространение получила потенциометрическая схема включения реостатного датчика, в которой реостат включают по схеме делителя напряжения. Делителем напряжения называют электротехническое устройство для деления постоянного или переменного напряжения на части; делитель напряжения позволяет снимать (использовать) только часть имеющегося напряжения посредством элементов электрической цепи, состоящей из резисторов, конденсаторов или катушек индуктивности. Переменный резистор, включаемый по схеме делителя напряжения, называют потенциометром.

Обычно реостатные датчики применяют в механических измерительных приборах для преобразования их показаний в электрические величины (ток или напряжение), например, в поплавковых измерителях уровня жидкостей, различных манометрах и т. п.

Датчик в виде простого реостата почти не используется вследствие значительной нелинейности его статической характеристики  $I_n = f(x)$ , где  $I_n$  - ток в нагрузке.

Выходной величиной такого датчика является падение напряжения  $U_{\text{вых}}$  между подвижным и одним из неподвижных контактов. Зависимость выходного напряжения от перемещения  $x$  контакта  $U_{\text{вых}} = f(x)$  соответствует закону изменения сопротивления вдоль потенциометра. Закон распределения сопротивления по длине потенциометра, определяемый его конструкцией, может быть линейным или нелинейным.

Потенциометрические датчики, конструктивно представляющие собой переменные резисторы, выполняют из различных материалов — обмоточного провода, металлических пленок, полупроводников и т. д.

Тензорезисторы (тензометрические датчики) служат для измерения механических напряжений, небольших деформаций, вибрации. Действие тензорезисторов основано на тензоэффекте, заключающемся в изменении активного сопротивления проводниковых и полупроводниковых материалов под воздействием приложенных к ним усилий.

Термометрические датчики (терморезисторы) - сопротивление зависит от температуры. Терморезисторы в качестве датчиков используют двумя способами:

1) Температура терморезистора определяется окружающей средой; ток, проходящий через терморезистор, настолько мал, что не вызывает нагрева терморезистора. При этом условии терморезистор используется как датчик температуры и часто называется «термометром сопротивления».

2) Температура терморезистора определяется степенью нагрева постоянным по величине током и условиями охлаждения. В этом случае установившаяся температура определяется условиями теплоотдачи поверхности терморезистора (скоростью движения окружающей среды – газа или жидкости – относительно терморезистора, ее плотностью, вязкостью и температурой), поэтому терморезистор может быть использован как датчик скорости потока, теплопроводности окружающей среды, плотности газов и т. п. В датчиках такого рода происходит как бы двухступенчатое преобразование: измеряемая величина сначала преобразуется в изменение температуры терморезистора, которое затем преобразуется в изменение сопротивления.

Индуктивные датчики служат для бесконтактного получения информации о перемещениях рабочих органов машин, механизмов, роботов и т.п. и преобразования этой информации в электрический сигнал.

Принцип действия индуктивного датчика основан на изменении индуктивности обмотки на магнитопроводе в зависимости от положения отдельных элементов магнитопровода (якоря, сердечника и др.). В таких датчиках линейное или угловое перемещение  $X$  (входная величина) преобразуется в изменение индуктивности ( $L$ ) датчика. Применяются для измерения угловых и линейных перемещений, деформаций, контроля размеров и т.д.

В простейшем случае индуктивный датчик представляет собой катушку индуктивности с магнитопроводом, подвижный элемент которого (якорь) перемещается под действием измеряемой величины.

Индуктивный датчик распознает и соответственно реагирует на все токопроводящие предметы. Индуктивный датчик является бесконтактным, не требует механического воздействия, работает бесконтактно за счет изменения электромагнитного поля.

Преимущества

- нет механического износа, отсутствуют отказы, связанные с состоянием контактов
- отсутствует дребезг контактов и ложные срабатывания
- высокая частота переключений до 3000 Hz
- устойчив к механическим воздействиям

Недостатки - сравнительно малая чувствительность, зависимость индуктивного сопротивления от частоты питающего напряжения, значительное обратное воздействие датчика на измеряемую величину (за счет притяжения якоря к сердечнику).

Емкостные датчики - принцип действия основан на зависимости электрической емкости конденсатора от размеров, взаимного расположения его обкладок и от диэлектрической проницаемости среды между ними.

Емкостные датчики, также как и индуктивные, питаются переменным напряжением (обычно повышенной частоты - до десятков мегагерц). В качестве измерительных схем обычно применяют мостовые схемы и схемы с использованием резонансных контуров. В последнем случае, как правило, используют зависимость частоты колебаний генератора от емкости резонансного контура, т.е. датчик имеет частотный выход.

Достоинства емкостных датчиков - простота, высокая чувствительность и малая инерционность. Недостатки - влияние внешних электрических полей, относительная сложность измерительных устройств.

Емкостные датчики применяют для измерения угловых перемещений, очень малых линейных перемещений, вибраций, скорости движения и т. д., а также для воспроизведения заданных функций (гармонических, пилообразных, прямоугольных и т. п.).

Емкостные преобразователи, диэлектрическая проницаемость  $\epsilon$  которых изменяется за счет перемещения, деформации или изменения состава диэлектрика, применяют в качестве датчиков уровня непроводящих жидкостей, сыпучих и порошкообразных материалов, толщины слоя непроводящих материалов (толщиномеры), а также контроля влажности и состава вещества.

Генераторные датчики осуществляют непосредственное преобразование входной величины  $X$  в электрический сигнал. Такие датчики преобразуют энергию источника входной (измеряемой) величины сразу в электрический сигнал, т.е. они являются как бы генераторами электроэнергии (откуда и название таких датчиков - они генерируют электрический сигнал).

Дополнительные источники электроэнергии для работы таких датчиков принципиально не требуются (тем не менее дополнительная электроэнергия может потребоваться для усиления выход-

ного сигнала датчика, его преобразования в другие виды сигналов и других целей). Генераторными являются термоэлектрические, пьезоэлектрические, индукционные, фотоэлектрические и многие другие типы датчиков.

Индукционные датчики преобразуют измеряемую неэлектрическую величину в ЭДС индукции. Принцип действия датчиков основан на законе электромагнитной индукции. К этим датчикам относятся тахогенераторы постоянного и переменного тока, представляющие собой небольшие электромашинные генераторы, у которых выходное напряжение пропорционально угловой скорости вращения вала генератора. Тахогенераторы используются как датчики угловой скорости.

Тахогенератор представляет собой электрическую машину, работающую в генераторном режиме. При этом вырабатываемая ЭДС пропорциональна скорости вращения и величине магнитного потока. Кроме того, с изменением скорости вращения изменяется частота ЭДС. Применяются как датчики скорости (частоты вращения).

Температурные датчики. В современном промышленном производстве наиболее распространенными являются измерения температуры (так, на атомной электростанции среднего размера имеется около 1500 точек, в которых производится такое измерение, а на крупном предприятии химической промышленности подобных точек присутствует свыше 20 тыс.). Широкий диапазон измеряемых температур, разнообразие условий использования средств измерений и требований к ним определяют многообразие применяемых средств измерения температуры.

Если рассматривать датчики температуры для промышленного применения, то можно выделить их основные классы: кремниевые датчики температуры, биметаллические датчики, жидкостные и газовые термометры, термоиндикаторы, термисторы, термопары, термопреобразователи сопротивления, инфракрасные датчики.

Кремниевые датчики температуры используют зависимость сопротивления полупроводникового кремния от температуры. Диапазон измеряемых температур  $-50...+150$  °С. Применяются в основном для измерения температуры внутри электронных приборов.

Биметаллический датчик сделан из двух разнородных металлических пластин, скрепленных между собой. Разные металлы имеют различный температурный коэффициент расширения. Если соединенные в пластину металлы нагреть или охладить, то она изогнется, при этом замкнет (разомкнет) электрические контакты или переведет стрелку индикатора. Диапазон работы биметаллических датчиков  $-40...+550$  °С. Используются для измерения поверхности твердых тел и температуры жидкостей. Основные области применения – автомобильная промышленность, системы отопления и нагрева воды.

Термоиндикаторы – это особые вещества, изменяющие свой цвет под воздействием температуры. Изменение цвета может быть обратимым и необратимым. Производятся в виде пленок.

#### Кварцевые термопреобразователи

Для измерения температур от  $-80$  до  $250$  °С часто используются так называемые кварцевые термопреобразователи, использующие зависимость собственной частоты кварцевого элемента от температуры. Работа данных датчиков основана на том, что зависимость частоты преобразователя от температуры и линейность функции преобразования изменяются в зависимости от ориентации среза относительно осей кристалла кварца. Данные датчики широко используются в цифровых термометрах.

#### Пьезоэлектрические датчики

Действие пьезоэлектрических датчиков основано на использовании пьезоэлектрического эффекта (пьезоэффекта), заключающегося в том, что при сжатии или растяжении некоторых кристаллов на их гранях появляется электрический заряд, величина которого пропорциональна действующей силе.

Пьезоэффект обратим, т. е. приложенное электрическое напряжение вызывает деформацию пьезоэлектрического образца - сжатие или растяжение его соответственно знаку приложенного напряжения. Это явление, называемое обратным пьезоэффектом, используется для возбуждения и приема акустических колебаний звуковой и ультразвуковой частоты.

Используются для измерения сил, давления, вибрации и т.д.

#### Оптические (фотоэлектрические) датчики

Различают аналоговые и дискретные оптические датчики. У аналоговых датчиков выходной сигнал изменяется пропорционально внешней освещенности. Основная область применения – автоматизированные системы управления освещением.

Датчики дискретного типа изменяют выходное состояние на противоположное при достижении заданного значения освещенности.

Фотоэлектрические датчики могут быть применены практически во всех отраслях промышленности. Датчики дискретного действия используются как своеобразные бесконтактные выключатели для подсчета, обнаружения, позиционирования и других задач на любой технологической линии.

Оптический бесконтактный датчик, регистрирует изменение светового потока в контролируемой области, связанное с изменением положения в пространстве каких-либо движущихся частей механизмов и машин, отсутствия или присутствия объектов. Благодаря большим расстояниям срабатывания оптические бесконтактные датчики нашли широкое применение в промышленности и не только.

Оптический бесконтактный датчик состоит из двух функциональных узлов, приемника и излучателя. Данные узлы могут быть выполнены как в одном корпусе, так и в различных корпусах.

По методу обнаружения объекта фотоэлектрические датчики подразделяются на 4 группы:

1) пересечение луча - в этом методе передатчик и приемник разделены по разным корпусам, что позволяет устанавливать их напротив друг друга на рабочем расстоянии. Принцип работы основан на том, что передатчик постоянно посылает световой луч, который принимает приемник. Если световой сигнал датчика прекращается, в следствии перекрытия сторонним объектом, приемник немедленно реагирует меняя состояние выхода.

2) отражение от рефлектора - в этом методе приемник и передатчик датчика находятся в одном корпусе. Напротив датчика устанавливается рефлектор (отражатель). Датчики с рефлектором устроены так, что благодаря поляризационному фильтру они воспринимают отражение только от рефлектора. Это рефлекторы, которые работают по принципу двойного отражения. Выбор подходящего рефлектора определяется требуемым расстоянием и монтажными возможностями.

Посылаемый передатчиком световой сигнал отражаясь от рефлектора попадает в приемник датчика. Если световой сигнал прекращается, приемник немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

3) отражение от объекта - в этом методе приемник и передатчик датчика находятся в одном корпусе. Во время рабочего состояния датчика все объекты, попадающие в его рабочую зону, становятся своеобразными рефлекторами. Как только световой луч отразившись от объекта попадает на приемник датчика, тот немедленно реагирует, меняя состояние выхода.

4) фиксированное отражение от объекта - принцип действия датчика такой же как и у "отражение от объекта" но более чутко реагирующий на отклонение от настройки на объект. Например, возможно детектирование вздутой пробки на бутылке с кефиром, неполное наполнение вакуумной упаковки с продуктами и т.д.

По своему назначению фотодатчики делятся на две основные группы: датчики общего применения и специальные датчики. К специальным, относятся типы датчиков, предназначенные для решения более узкого круга задач. К примеру, обнаружение цветной метки на объекте, обнаружение контрастной границы, наличие этикетки на прозрачной упаковке и т.д.

Задача датчика обнаружить объект на расстоянии. Это расстояние варьируется в пределах 0,3 мм - 50м, в зависимости от выбранного типа датчика и метода обнаружения.

#### Микроволновые датчики

На смену кнопочно - релейным пультам приходят микропроцессорные автоматические системы управления технологическим процессом (АСУ ТП) высочайшей производительности и надежности, датчики оснащаются цифровыми интерфейсами связи, однако это не всегда приводит к повышению общей надежности системы и достоверности ее работы. Причина заключается в том, что сами принципы действия большинства известных типов датчиков накладывают жесткие ограничения на условия, в которых они могут использоваться.

Например, для слежения за скоростью движения промышленных механизмов широко применяются бесконтактные (емкостные и индуктивные), а также тахогенераторные устройства контроля скорости (УКС). Тахогенераторные УКС имеют механическую связь с движущимся объектом, а зона чувствительности бесконтактных приборов не превышает нескольких сантиметров.

Все это не только создает неудобства при монтаже датчиков, но и существенно затрудняет использование этих приборов в условиях пыли, которая налипает на рабочие поверхности, вызывая ложные срабатывания. Перечисленные типы датчиков не способны напрямую контролировать объект (например, ленту конвейера) - они настраиваются на движение роликов, крыльчаток, натяжных бара-

банов и т. д. Выходные сигналы некоторых приборов настолько слабы, что лежат ниже уровня промышленных помех от работы мощных электрических машин.

Аналогичные трудности возникают при использовании традиционных сигнализаторов уровня - датчиков наличия сыпучего продукта. Такие устройства необходимы для своевременного отключения подачи сырья в производственные емкости. К ложным срабатываниям приводит не только налипание и пыль, но и прикосновение потока продукта при его поступлении в бункер. В неотопляемых помещениях на работу датчиков влияет окружающая температура. Ложные срабатывания сигнализаторов вызывают частые остановки и запуски нагруженного технологического оборудования - основную причину его аварий, приводят к завалам, обрыву конвейеров, возникновению пожаро- и взрывоопасных ситуаций.

Указанные проблемы несколько лет назад привели к разработке принципиально новых типов приборов - радиолокационных датчиков контроля скорости, датчиков движения и подпора, работа которых основана на взаимодействии контролируемого объекта с радиосигналом частотой около  $10^{10}$  Гц.

Использование микроволновых методов контроля за состоянием технологического оборудования позволяет полностью избавиться от недостатков датчиков традиционных типов.

Отличительными особенностями этих устройств являются:

- отсутствие механического и электрического контакта с объектом (средой), расстояние от датчика до объекта может составлять несколько метров;
- непосредственный контроль объекта (транспортной ленты, цепи) а не их приводов, натяжных барабанов и т. д.;
- малое энергопотребление;
- нечувствительность к налипанию продукта за счет больших рабочих расстояний;
- высокая помехоустойчивость и направленность действия;
- разовая настройка на весь срок службы;
- высокая надежность, безопасность, отсутствие ионизирующих излучений.

Принцип действия датчика основан на изменении частоты радиосигнала, отраженного от движущегося объекта. Это явление ("эффект Доплера") широко используется в радиолокационных системах для дистанционного измерения скорости. Движущийся объект вызывает появление электрического сигнала на выходе микроволнового приемо-передающего модуля.

Так как уровень сигнала зависит от свойств отражающего объекта, датчики движения могут использоваться для того, чтобы сигнализировать об обрыве цепи (ленты), наличии на конвейерной ленте каких-либо предметов или материалов. Лента имеет гладкую поверхность и низкий коэффициент отражения. Когда мимо датчика, установленного над рабочей веткой транспортера, начинает двигаться продукт, увеличивая коэффициент отражения, прибор сигнализирует о движении, то есть, фактически о том, что лента не пуста. По длительности выходного импульса можно на значительном расстоянии судить о размере перемещаемых предметов, производить селекцию и т.д.

При необходимости заполнить какую-либо емкость (от бункера до шахты) можно точно определить момент окончания засыпки - опущенный на определенную глубину датчик будет показывать движение наполнителя до тех пор, пока не будет засыпан.

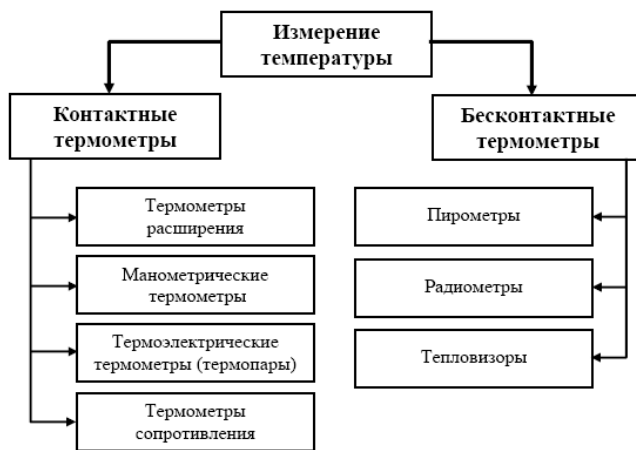
Конкретные примеры использования микроволновых датчиков движения в различных отраслях промышленности определяются ее спецификой, но в целом они способны решать самые разнообразные задачи безаварийной эксплуатации оборудования и повысить информативность автоматизированных систем управления.

## **РАЗДЕЛ 2. ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ.**

### **2.1. Общие сведения об измерении температуры.**

*Лекция проходит в интерактивной форме в виде презентации (2 часа).*

В зависимости от методики измерений термометры разделяют на контактные и бесконтактные. В контактных термометрах необходим контакт чувствительного элемента термометра со средой, температура которой измеряется. В бесконтактных термометрах нет необходимости в тепловом контакте среды и прибора, а достаточно измерений собственного теплового или оптического излучения.



Контактные приборы и методы по принципу действия разделяются на:

- а) термометры расширения, принцип действия которых основан на зависимости объемного расширения жидкости и линейных размеров твердых тел от температуры;
- б) манометрические термометры, принцип действия которых основан на изменении давления рабочего (термометрического) вещества в зависимости от температуры;
- в) термоэлектрические термометры (термопары), принцип действия которых основан на использовании зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры;
- г) термометры сопротивления, принцип действия которых основан на зависимости электрического сопротивления чувствительного элемента от температуры.

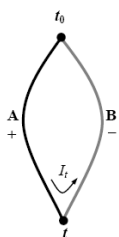
Бесконтактные методы, в основе которых лежит регистрация собственного теплового или оптического излучения, можно представить следующими направлениями:

- а) пирометрия - измерение температуры самосветящихся объектов: пламени, плазмы, астрофизических объектов;
- б) радиометрия - измерение температуры по собственному тепловому излучению тел. Для невысоких и комнатных температур это излучение находится в инфракрасном диапазоне длин волн;
- в) тепловидение - радиометрическое измерение температуры с пространственным разрешением и с преобразованием температурного поля в телевизионное изображение, иногда с цветовым контрастом. Позволяет измерять градиенты температуры, температуру среды в замкнутых объемах, например, температуру жидкостей в резервуарах и трубах.

## 5.2. Средства измерения температуры.

### Термоэлектрические термометры

Измерение температуры термоэлектрическими термометрами (термоэлектрическими преобразователями, ТЭП) основано на эффекте Зеебека, заключающегося в генерировании термоэлектродвижущей силы (термо-ЭДС), возникающей из-за разности температур между двумя соединениями различных металлов или сплавов, образующих часть одной и той же цепи.



Под термоэлектрическим термометром принято понимать комплект, состоящий из:

- 1) термопары, осуществляющей преобразование температуры в электрическое напряжение,
- 2) линий связи (удлиняющих проводов),
- 3) вторичного прибора для измерения термо-ЭДС.

Термопара представляет собой цепь, состоящую из двух соединенных между собой разнородных проводников А и В, которые называются термоэлектродами, места соединения термоэлектродов - спаями. Спай с температурой  $t$  погружаемый в измеряемую среду, называется рабочим (горячим) спаем, второй спай с температурой  $t_0$  - холодный (свободный, соединительный).

Зеебеком было установлено, что если температуры  $t_0$  и  $t$  не равны, то в такой цепи будет протекать электрический ток, направление которого зависит от разности температур спаев. При размыкании такой цепи на концах может быть измерена термо-ЭДС.

Возникновение термоэлектрических токов объясняется следующим: при соединении одинаково нагретых концов двух проводников из разнородных материалов, при этом в первом количестве свободных электронов больше, чем во втором, последние будут диффундировать из первого проводника во второй. При этом первый проводник станет заряжаться положительно, а второй - отрицательно.

Образуемое при этом в месте соединения проводников электрическое поле будет противодействовать этой диффузии, в результате чего наступит состояние подвижного равновесия, при котором между свободными концами указанных проводников появится некоторая разность потенциалов (термо-ЭДС). С увеличением температуры проводников значение этой термо-ЭДС будет увеличиваться. Также термо-ЭДС возникает и между концами однородного проводника, имеющими разные температуры. В этом случае до наступления состояния подвижного равновесия положительно заряжается более нагретый конец проводника, как обладающий большей концентрацией свободных электронов по сравнению с концом, менее нагретым. Возрастание разности температур между концами проводника приводит к увеличению возникающей в нем термо-ЭДС.

Таким образом - контактная разность потенциалов и диффузия электронов - являются слагаемыми результирующей термо-ЭДС цепи, значение которой зависит от природы термоэлектродов и разности температур спаев ТЭП.

Конструктивное выполнение термопар определяется условиями их применения.

По типу исполнения стандартные ТЭП делятся на:

- а) погружаемые и поверхностные,
- б) стационарные и переносные;
- в) одинарные, двойные и тройные - одинарные (с одним чувствительным элементом) и двойные (с двумя чувствительными элементами). Двойные термопары применяются для измерения температуры в одном и том же месте одновременно двумя вторичными приборами, установленными в разных пунктах наблюдения.
- г) однозонные и многозонные,
- д) обыкновенные, водозащищенные, взрывобезопасные и т.д.

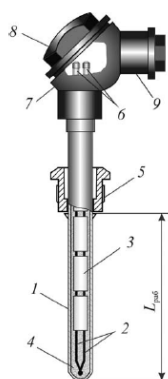


Рис. 2.12. Конструкция термопары:  
 1 – защитный чехол; 2 – термоэлектроды;  
 3 – изоляционные бусы; 4 – порошок;  
 5 – штуцер; 6 – розетка с клеммами;  
 7 – головка; 8 – крышка; 9 – штуцер под кабель

Обозначение	Международное обозначение	Материалы электродов	Диапазон длительного применения (кратковременного)
ТВР	А	Вольфрамрений(W+5% Re)- вольфрамрений(W+20% Re)	0-2200 (2500) кроме окислительных сред
ТПР	В	Платинородий(Pt+30% Rh)- платинородий(Pt+6% Rh)	300-1600 (1800)
ТПП 13 ТПП10	S R	Платинородий(Pt+13% Rh)-платина Платинородий(Pt+10% Rh)-платина	0-1300 (1600) в окислительных средах
ТХА	К	Хромель-алюмель	-200-1000 (1300) в окислительных и инертных средах
ТХК	L	Хромель-копель	-200-600 (800)

#### Термометры сопротивления (ТС)

В термометре сопротивления с изменением температуры изменяется сопротивление.

Терморезисторы обычно изготавливают из тонкой проволоки в виде намотки на каркас или спирали внутри каркаса.

По допускаемым погрешностям терморезисторы выпускают трех классов – А, В, С; обычно ТСП выпускают классов А, В, ТСМ – В, С.

Номинальной статической характеристикой (НСХ) ТС является зависимость его сопротивления от температуры  $R_t=f(t)$ .

### Платиновые терморезисторы

ТСП используют для измерения температуры в интервале  $-260 \dots 1100$  °С.

Недостатком ТСП является нелинейность статической характеристики при высоких и отрицательных температурах.

Градуировочная характеристика ТСП имеет вид  $R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$ .

Имеют следующие обозначения НСХ: 1П, 5П, 10П, 50П, 100П, 500П, гр.20, гр.21, гр.22, соответствующие сопротивлению при 0°С: 1, 5, 10, 50, 100, 500 Ом, 10, 46, 100 Ом

Для изготовления ТСП используется проволока диаметром 0,05-0,5 мм.

Чувствительный элемент состоит из соединенных последовательно двух платиновых спиралей 1, расположенных в каналах керамического каркаса 2. Каналы каркаса со спиральями заполняются порошком 3 (обычно это оксид магния), который служит изолятором и улучшает тепловой контакт проволоки с каркасом. К концам спиралей припаяны короткие выводы 4 из платиновой или иридиевой проволоки, к которым затем припаиваются изолированные выводные проводники. Торцы керамического каркаса герметизируются специальной глазурью 5. Каркас помещается в тонкостенную металлическую оболочку 6, которая заполняется порошком и закрывается пробкой, через которую пропущены выводы.

### Медные терморезисторы

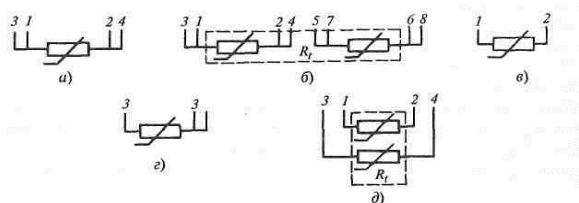
ТСМ применяют для измерения температуры в интервале  $-200 \dots 200$  °С.

Градуировочная характеристика ТСМ имеет вид  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$ , где  $\alpha$  – температурный коэффициент.

ТСМ имеют следующие обозначения НСХ: 10М, 50М, 100М, гр.23, гр.24, соответствующие сопротивлению при 0°С: 10, 50, 100 Ом, 53, 100 Ом.

Чувствительный элемент состоит из медной изолированной проволоки 2 диаметром 0,1 мм, намотанной на слюдяную пластину 1 (или пластмассовый цилиндр) и помещенный в защитный чехол 3, засыпанный изолирующим порошком и герметизированный.

Арматура ТС бывает двух исполнений: с головкой и без нее. В головке ТС имеются контакты, к которым подсоединяются выводные проводники с вторичным прибором. Подключаться ТС может по двух, трех, четырехпроводной схеме:



Вторичные приборы, работающие в комплекте с ТС: мосты (уравновешенные и неуравновешенные), логометры, нормирующие преобразователи.

### Бесконтактные методы измерения температуры

О температуре нагретого тела можно судить на основании измерения параметров его теплового излучения, представляющего собой электромагнитные волны различной длины. Чем выше температура тела, тем больше энергии оно излучает.

Термометры, действие которых основано на измерении теплового излучения, называют пирометрами. Они позволяют контролировать температуру от 100 до 6000°С и выше.

Преимущества приборов, измеряющих температуру бесконтактным способом по сравнению с приборами, измеряющими температуру контактным способом:

- 1) имеют неограниченный верхний предел измерения
- 2) возможность измерения температур излучателей, находящихся на большом расстоянии
- 3) не искажают температурное поле объекта измерения
- 4) могут применяться для измерения температур газовых потоков при больших скоростях.

### Типы пирометров:

1. пирометр частичного излучения (ПЧИ) - измеряется энергия в ограниченном фильтром (или приемником) участке спектра,
2. пирометр спектрального отношения (ПСО) - измеряется отношение энергии фиксированных участков спектра,
3. пирометр суммарного излучения (ПСИ) - измеряется полная энергия излучения.



## РАЗДЕЛ 3. ИЗМЕРЕНИЕ ДАВЛЕНИЯ И РАЗНОСТИ ДАВЛЕНИЙ

### 3.1. Общие сведения об измерении давления

*Лекция проходит в интерактивной форме в виде презентации (2 часа).*

Давлением  $P$  называют отношение силы  $F$ , действующей перпендикулярно к поверхности тела, к площади  $S$  этой поверхности.

#### Виды измеряемых давлений

На практике давления газообразных и жидких сред могут измеряться относительно двух различных уровней:

- уровня абсолютного вакуума - идеализированного состояния среды в замкнутом пространстве, из которого удалены все молекулы и атомы вещества среды
- уровня атмосферного (барометрического) давления

1. Барометрическое давление (ДБ) - это давление земной атмосферы.
2. Давление, которое больше атмосферного, называют избыточным (ДИ)
3. Давление, которое меньше атмосферного, называется вакуумметрическим (ДВ) (разрежения).
4. Абсолютное давление (ДА) - давление, измеряемое относительно вакуума или полное давление, под которым находится жидкость или газ:  $ДА = ДБ + ДИ$ ,  $ДА = ДБ - ДВ$ .
5. Дифференциальное давление (ДД) - разность давлений сред.

#### Классификация СИ давления

По виду измеряемого давления:

- 1) барометры, измеряющие атмосферное давление;
- 2) манометры, измеряющие избыточное давление;
- 3) вакуумметры, измеряющие вакуумметрическое давление (разряжение);
- 4) мановакуумметры, измеряющие избыточное давление, и разряжение;
- 5) напоромеры, измеряющие малые давления;
- 6) тягомеры, измеряющие малые разрежения;
- 7) тягонапоромеры, служащие для измерения малых давлений и разрежений;
- 8) дифференциальные манометры, измеряющие разность двух давлений.

По принципу действия:

1. жидкостные - измеряемое давление уравнивается гидростатическим столбом жидкости соответствующей высоты
2. деформационные - давление определяется по величине деформации и перемещения упругого чувствительного элемента (УЧЭ)
3. грузопоршневые - измеряемое или воспроизводимое давление гидростатически уравнивается через жидкую или газообразную среду прибора давлением веса поршня с грузоприемным устройством и комплектом образцовых гирь
4. электрические - давление определяется на основании зависимости электрических параметров (сопротивления, емкости, заряда, частоты) чувствительного элемента (ЧЭ) от измеряемого давления.

### 3.2. Средства измерения давления

Жидкостные манометры

Жидкостные манометры отличаются простотой конструкции и сравнительно высокой точностью измерения.

В качестве рабочей жидкости используют вода, ртуть, спирт, трансформаторное масло.

- Двухтрубные (U-образный)
- однострунные (чашечные)
- микроманометры

Двухтрубные манометры

Стекланная трубка 1 закреплена на доске 2 со шкалой 3, расположенной между коленами трубки, и заполнена рабочей жидкостью. Один конец трубки соединен с полостью, в которой измеряется давление, другой сообщается с атмосферой. Под действием измеряемого давления

жидкость в трубке перемещается из одного колена в другое до тех пор, пока измеряемое давление не уравновесится гидростатическим давлением столба жидкости в открытом колене.

Если давление в пространстве, с которым соединен прибор, ниже атмосферного, то жидкость в трубках переместится в обратном направлении.

Присоединив оба свободных конца трубки прибора к двум полостям с разными давлениями, можно по разности уровней жидкости определить разность давлений.

Прибор наполнен жидкостью до нулевой отметки шкалы. Для определения высоты столба жидкости необходимо сделать два отсчета относительно нуля: снижения в одном колене и подъема в другом и суммировать замеренные величины, т.е.  $H=h_1 + h_2$ .

#### Чашечный манометр

Аналогичен двухтрубному, но одно из колен выполнено в виде сосуда (чашки) 1, в которое подается большее давление, а трубка 2 сообщается с атмосферой.

Жидкость под действием давления в чашке опускается на высоту  $h_1$ , а в трубке поднимается на высоту  $h_2$ . Т.к. площадь сечения чашки значительно больше сечения трубки, то величиной понижения уровня жидкости в чашке пренебрегают, и результат отсчитывают только по высоте столба жидкости в трубке от начального значения.

#### Микроманометры

Наклон измерительной трубки сделан для уменьшения погрешности измерений. В качестве рабочей жидкости применяют этиловый спирт, который заливают в широкий сосуд настолько, чтобы уровень его в наклонной трубке находился против нулевой отметки шкалы. Длина шкалы выполняется обычно 250 мм.

Избыточное давление подают в широкий сосуд прибора, а при измерении разрежения, то в наклонную трубку. При измерении разности давлений большее давление подается в сосуд, а меньшее в измерительную трубку.

Измеряемое давление определяют  $h=h_1+h_2$   $h_1=nsin\alpha$   $h= nsin\alpha+h_2$  или  $P=\rho gh$

#### Деформационные датчики давления

По виду упругого чувствительного элемента деформационные датчики делятся на:

- приборы с трубчатой пружиной
- мембранные приборы;
- сильфонные приборы.

В манометрах с трубчатой пружиной чувствительным элементом является согнутая по дуге окружности и запаянная с одного конца трубка 1 (трубка Бурдона) эллиптического, плоскоовального или круглого сечения, а другим концом закрепленная в держателе 2, к которому подводится измеряемое давление.

Запаянная с одного конца одновитковая трубчатая пружина 1 эллиптического или овального сечения закреплена другим концом в держателе, соединенном с сосудом, в котором измеряют давление. Под действием избыточного давления трубка разгибается, и свободный конец ее через поводок 2 поворачивает зубчатый сектор 3 и вместе с ним стрелку 4, которая перемещается вдоль шкалы 6, проградуированной в единицах давления. Спиральная пружина 5 служит для устранения люфта в зубчатом зацеплении.

#### Мембранные приборы.

Мембрана представляет собой тонкий диск определенного диаметра, закрепленный по периметру в измерительном блоке. Под воздействием измеряемого давления происходит прогиб мембраны на величину  $h$  и затем это перемещение преобразуется во вращательное движение стрелки прибора.

Изготавливаются мембраны плоскими или гофрированными. Плоские мембраны имеют нелинейные статические характеристики. Для улучшения статической характеристики применяют гофрированные мембраны.

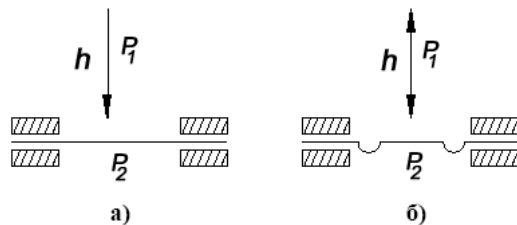


Рис. 3.9. Упругие мембраны:  
а – плоская; б – гофрированная

Также мембраны делят на упругие и «вялые». Упругие мембраны выполняют из тонких металлических пластин (сталь, бронза, латунь), они обладают достаточно большой собственной жесткостью. Упругие мембраны используют как чувствительные элементы в первичных преобразователях, например, в дифманометрах.

«Вялые» мембраны выполняют из прорезиненной тонкой ткани (капрон, шелк, полотно). Их применяют для преобразования больших перепадов давления в силу при крайне малых перемещениях (порядка сотых долей мм), поэтому у них должна отсутствовать собственная жесткость и они должны быть прочными. «Вялые» мембраны обычно снабжены металлическим жестким центром. Они также могут быть плоскими и гофрированными.

Величина прогиба мембраны является сложной функцией действующего на нее давления и зависит от ее геометрических параметров (диаметра, толщины, числа и формы гофров), а также модуля упругости материала мембраны.

Для увеличения прогиба при измерении малых давлений (разрежений) мембраны попарно соединяют (сваркой или пайкой) в мембранные коробки, а коробки - в мембранные блоки.

Приборы с чувствительным элементом в виде плоских и гофрированных мембран, мембранных коробок и мембранных блоков применяют для измерения небольших избыточных давлений и разрежений (манометры, напоромеры и тягомеры), а также перепадов давления (дифманометры).

#### Сильфонные приборы

Сильфон - это тонкостенная металлическая камера с поперечными кольцевыми гофрами, диаметром 20 - 80 мм.. Изготавливают сильфоны из латуни, нержавеющей стали или бериллиевой бронзы.

Под воздействием давления (внешнего  $P_2$  или внутреннего  $P_1$ ) длина сильфона изменяется, увеличиваясь или уменьшаясь в зависимости от направления приложенной силы. Наличие гофров позволяет перемещать подвижную часть сильфона на значительное расстояние (десятки миллиметров) без заметного изменения его характеристик.

Недостатками сильфонов являются: значительный гистерезис и некоторая нелинейность статической характеристики. Для устранения этих недостатков внутрь сильфона помещают винтовую цилиндрическую пружину.

#### Электрические датчики давления

В этих приборах измеряемое давление, воздействуя на чувствительный элемент, изменяет его электрические параметры: сопротивление, ёмкость или заряд, которые становятся мерой этого давления.

Типы электрических датчиков:

1) емкостные - используют упругий чувствительный элемент в виде конденсатора с переменным зазором: смещение или прогиб под действием прилагаемого давления подвижной электродмембраны относительно неподвижного изменяет его ёмкость;

2) пьезоэлектрические - основаны на зависимости поляризованного заряда или резонансной частоты пьезокристаллов кварца, турмалина от прилагаемого к ним давления;

3) тензорезисторные - используют зависимость активного сопротивления проводника или полупроводника от деформации.

На сегодняшний день самыми популярными в России являются тензорезисторные ИПД.

## 4. Измерение количества и расхода вещества

### 4.1. Общие сведения об измерении количества и расхода вещества

*Лекция проходит в интерактивной форме в виде презентации (2 часа).*

Количество вещества выражают в единицах объема или массы. В системе СИ за единицу объема принят кубический метр ( $\text{м}^3$ ), а за единицу массы - килограмм (кг). Количество газа измеряют объемным методом. Для получения сравнимых результатов измерений необходимо объем газа привести к следующим нормальным условиям: температура  $20^\circ\text{C}$  ( $293,15\text{ K}$ ), давление  $101325\text{ Па}$  ( $760\text{ мм рт. ст.}$ ), относительная влажность  $\varphi=0$ .

Приборы, измеряющие количество вещества, называются счетчиками. Счетчики измеряют протекающий через них объем вещества за любой промежуток времени. Количество вещества при этом определяется как разность показаний счетчика.

Расходом вещества называется количество вещества, проходящее через данное сечение канала в единицу времени. Объемный расход  $Q$  определяется как произведение скорости потока  $v$  на площадь отверстия истечения  $S$ , т.е.  $Q=vS$ .

Объемный расход в системе СИ измеряется в  $\text{м}^3/\text{с}$ .

Массовый расход  $Q_m$  получают умножением объемного расхода  $Q$  на плотность  $\rho$  жидкости, газа или пара, т.е.  $Q_m=Q\rho$ .

За единицу измерения массового расхода принят  $\text{кг}/\text{с}$ .

Приборы, измеряющие расход, называются расходомерами. Эти приборы могут быть снабжены счетчиками (интеграторами), тогда они называются расходомерами со счетчиком. Такие расходомеры позволяют измерять расход и количество вещества.

В зависимости от принятого метода измерения приборы для измерения расхода и количества подразделяются на:

- расходомеры переменного перепада давления;
- расходомеры постоянного перепада давления;
- бесконтактные расходомеры: электромагнитные, ультразвуковые;
- кориолисовы расходомеры;
- вихревые расходомеры;
- калориметрические расходомеры и др.

### 4.2. Средства измерения количества и расхода вещества

Измерение количества жидкости и газа

Количество жидкости или газа можно измерить счетчиками. По принципу действия счетчики подразделяются на объемные, массовые и скоростные. Для измерения количества жидкости применяют преимущественно объемные и скоростные счетчики, для измерения объема газа - объемные счетчики. Для каждого счетчика существует определенный минимальный расход, ниже которого резко возрастает основная погрешность.

Номинальным называется наибольший длительный расход, при котором погрешность измерения не выходит за пределы установленных норм, а потеря напора не создает в счетчике усилий, приводящих к быстрому износу его деталей. Характерным расходом называется количество вещества, которое проходит через счетчик за 1 ч при установившемся потоке и потере напора  $0,1\text{ МПа}$ . Характерный расход является условной величиной и служит мерой оценки счетчиков различных конструкций.

Потери напора представляют собой разность давлений на входе в счетчик и выходе из него.

Калибром счетчика называется диаметр условного прохода входного патрубка, выраженный в миллиметрах.

Скоростные счетчики для жидкостей

Эти счетчики служат для измерения количества жидкостей. Они основаны на принципе измерения средней скорости движущегося потока. Количество жидкости  $Q$  связано со средней скоростью движущегося потока соотношением:  $Q=v_{\text{ср}}S$ ,

где  $v_{\text{ср}}$  - средняя скорость движения вещества,  $\text{м}/\text{с}$ ;  $S$  - поперечное сечение потока,  $\text{м}^2$ .

О количестве жидкости, прошедшей через прибор, судят по числу оборотов лопастной вертушки, расположенной на пути потока. Считается, что скорость вращения вертушки пропорциональна средней скорости потока  $n = sv_{\text{ср}}$ , где  $n$  - число оборотов вертушки;  $s$  - коэффициент пропорциональности, характеризующий механические и гидравлические свойства прибора.

По форме вертушки скоростные счетчики разделяются на две группы: с винтовой вертушкой и крыльчатые. Винтовые вертушки размещают параллельно измеряемому потоку, крыльчатые - перпендикулярно ему.

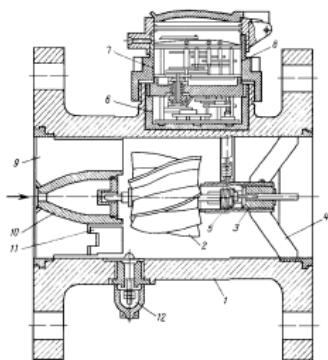


Рис. 4.1. Скоростной счётчик с винтовой вертушкой:  
 1-корпус; 2-вертушка;  
 3-подшипник; 4-крестовина;  
 5-червяк; 6-передаточный механизм;  
 7- сальник; 8-счётный механизм;  
 9-струевыпрямитель; 11-лопасть;  
 12-рычажный привод

На рис.4.1 показан скоростной счетчик с винтовой вертушкой, закреплённой на горизонтальной оси. В корпусе 1, снабженном фланцами для присоединения к трубопроводу, установлена вертушка 2 с лопастями, изогнутыми по винтовой линии. Вертушку изготовляют из пластмассы при рабочей температуре до 30°C и из латуни при более высоких температурах. На ось вертушки перед задним закрытым подшипником 3, закрепленным в крестовине 4, насажен червяк 5, сцепляющийся с червячной шестерней, передающей вращение передаточному механизму 6. От механизма движение передается оси, проходящей через сальник 7, и счетному механизму 8. Перед вертушкой со стороны входа жидкости установлен струевыпрямитель 9, состоящий из нескольких радиально закрепленных прямых пластин. Конец одной из пластин струевыпрямителя поворачивается вокруг вертикальной оси, образуя лопасть 11, служащую для регулирования счетчика через рычажный привод 12. В струевыпрямителе закреплен передний подшипник 10 оси вертушки.

Механическое сопротивление (трение в подшипниках, сальнике и т.п.) влияет на скорость вращения вертушки, а при некоторой минимальной скорости потока вертушка будет неподвижна.

В зависимости от способа подвода жидкости счетчики с крыльчатой вертушкой подразделяются на одноструйные и многоструйные.

Как в одноструйных, так и в многоструйных счетчиках жидкость подводится тангенциально к лопастям вертушки. Счетчики с крыльчатой вертушкой устанавливают на горизонтальных участках трубопроводов. Счетчики с винтовой вертушкой применяют при давлении жидкости до 1,0 МПа и при длительной нагрузке до 600 м<sup>3</sup>/ч. Погрешность счетчиков составляет 2 - 3% действительного значения.

#### Объемные счетчики для жидкостей

Принцип работы объемных счетчиков заключается в измерении определенного объема жидкости, вытесняемого из измерительной камеры под воздействием разности давлений.

Объемные счетчики выпускаются двух типов, лопастные и с овальными зубчатыми колесами. Принцип действия лопастных счетчиков основан на том, что поток измеряемой жидкости, поступая через входной патрубок, проходит через измерительную камеру, где теряет часть напора на создание крутящего момента, приводящего во вращение ротор с выдвижными лопастями.

Измерение объемного количества жидкости происходит при периодическом отсечении определенных объемов жидкости, заключенных в полости между двумя лопастями и цилиндрическими поверхностями измерительной камеры и барабана. За один полный оборот ротора отсекаются четыре объема, сумма которых равна емкости измерительной камеры. На рис. 4.2 показано несколько положений ротора, иллюстрирующих части цикла, в течение которого ротор совершает пол-оборота, что соответствует половине ёмкости измерительной камеры.

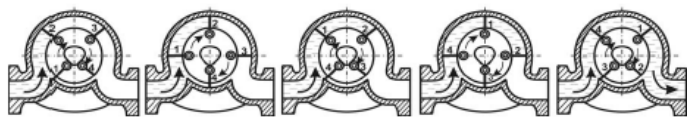


Рис. 4.2. Лопастной счетчик

На рис.4.3 показан счетчик с овальными зубчатыми колесами. Проходя через счетчик, поток жидкости теряет часть своей энергии на вращение овальных колес. В зависимости от расположения колес относительно входа потока жидкости каждое из них является поочередно то ведущим, то ведомым.

При вращении овальных колес периодически отсекается определенный объем жидкости, ограниченный овалом колеса и стенкой измерительной камеры. За один оборот колес отсекается четыре определенных объема жидкости, которые в сумме равны свободному объему измерительной камеры, счетчика.

Количество жидкости, прошедшей через счетчик, определяют по числу оборотов овальных колес. В положении I жидкость вращает правое колесо по часовой стрелке, а правое колесо вращает левое против часовой стрелки. В этом положении правое колесо отсекает определенный объем жидкости 1.

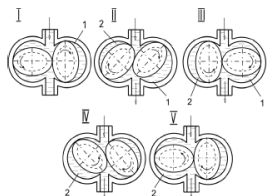


Рис. 4.3. Счетчик с овальными зубчатыми колесами

В положении II левое колесо заканчивает отсекание нового объема жидкости 2, а правое выталкивает ранее отсеченный его объем жидкости 1 в выходной патрубок счетчика. В этом положении крутящий момент передается на оба колеса. В положении III ведущим является левое колесо, которое к этому времени уже отсекло объем 2. Оно вращает правое колесо по часовой стрелке. Дальнейшее вращение колес происходит аналогично (положения IV и V).

Для измерения объемов очень вязких жидкостей (мазут и др.) в счетчиках предусматривают паровую рубашку. Счетчики с овальными колесами выпускаются промышленностью для различных диаметров трубопроводов при рабочем давлении до 1,57 МПа. Потеря напора от установки счетчика составляет примерно 0,02 МПа. Погрешность показаний этих приборов 0,5 %.

#### Ротационные счётчики для газов

Из счетчиков для газов наиболее распространены ротационные счетчики (рис. 4.5). Они предназначены для измерения больших количеств газа. Счетчик состоит из кожуха 2, внутри которого вращаются на параллельных горизонтальных валах роторы 1. Валы роторов связаны зубчатыми колесами, находящимися вне кожуха. От одного из валов вращение передается счетному механизму. Шарико- или роликоподшипники валов, а также зубчатые колеса находятся в масляных ваннах и заключены в картеры. Тонкий валик, соединяющий вал ротора со счетным механизмом, проходит через сальник в стенке картера.

В положении, изображенном на схеме, правый ротор не вращается под действием газа (давления на обе стороны ротора одинаковые). На верхнюю часть левого ротора действует газ с более высоким давлением, чем на нижнюю; левый ротор поворачивается, увлекая за собой правый.

#### Стандартные сужающие устройства

Диафрагма представляет собой тонкий металлический диск с круглым концентрическим отверстием, которое имеет со стороны входа острую цилиндрическую кромку, а далее расточено под углом 30-60°.

Диафрагмы бывают: камерные и бескамерные. Камерная диафрагма состоит из кольцевых камер и диска и имеет металлическое ушко, приваренное к боковой поверхности диска.

Камерные диафрагмы используются для трубопроводов с условным диаметром Ду от 50 до 500 мм, бескамерные - от 300 до 1000 мм.

Толщина диафрагмы E не должна превышать 0,05D, где D - диаметр трубопровода. Диаметр отверстия диафрагмы d должен быть больше 12,5 мм. Наиболее часто диафрагмы изготавливают из нержавеющей стали.

Сопло - сужающее устройство, имеющее плавно сужающуюся часть на входе и переходящую в горловину на выходе. Сопла применяются в трубопроводах  $50 \text{ мм} < D < 630 \text{ мм}$ , а также для измерения расхода газов и перегретого пара, если  $((P_1 - P_2)/P_1) < 0.1$ , и для измерения расхода пара высокого давления и агрессивных газов в трубопроводах диаметром  $D \leq 200 \text{ мм}$ .

По сравнению с диафрагмами они менее чувствительны к коррозии, загрязнениям и обеспечивают несколько большую точность измерения.

Поверхность входной части сопла не должна быть шероховатой; для цилиндрической части исключается конусность. Выходная кромка цилиндрической части отверстия должна быть острой, без заусенцев, фаски или закругления. Для изготовления сопел применяют нержавеющие стали.

Сопло Вентури - сопло, которое состоит из входной части в виде сопла, горловины и выходной части в виде расходящегося конуса (диффузора).

Они применяются в трубопроводах диаметром  $65 \text{ мм} < D < 500 \text{ мм}$ , при  $d > 50 \text{ мм}$ .

Сопло Вентури может быть длинным и коротким: у первого наибольший диаметр выходного конуса равен диаметру трубопровода, у второго - меньше. Перепад давлений измеряют через кольцевые камеры.

Трубы Вентури применяют в трубопроводах диаметром от 50 до 1200 мм при условии, что

Расходомеры постоянного перепада давления

Наиболее распространёнными приборами этой группы являются расходомеры со свободно перемещающимся в корпусе поплавком (ротаметры). Проходящий через ротаметр снизу поток жидкости или газа будет поднимать поплавок вверх, пока действующие на поплавок силы не уравновесятся, тогда он останавливается на высоте, в зависимости от величины расхода.

При неизменном расходе поплавков неподвижен.

В работающем ротаметре поплавок полностью погружен в измеряемую среду. Вес погруженного поплавка определяется  $G_1 = (\rho_n - \rho_c)gV_n$ , где  $V_n$  - объем поплавка,  $\rho_n$  и  $\rho_c$  - плотности материала поплавка и измеряемой среды соответственно;  $g$  - ускорение свободного падения.

Сила действующая на поплавок со стороны измеряемого потока  $G_2 = (P_1 - P_2)F_0$ , где  $P_1$  и  $P_2$  - давления среды перед поплавком и за ним;  $F_0$  - наибольшее поперечное сечение поплавка.

В состоянии равновесия (поплавок неподвижен)  $G_1 = G_2$ , т. е.  $P_1 - P_2 = (\rho_n - \rho_c)gV_n/F_0$ . Из полученного уравнения видно, что независимо от положения поплавка перепад давлений на нем постоянен и не зависит от измеряемого расхода. Это объясняется постоянством скорости измеряемой среды при изменении ее расхода, что обусловлено изменением площади кольцевого зазора между поплавком и трубкой.

Электромагнитные расходомеры

Расходомеры данного типа относятся к бесконтактным. Изготавливают с постоянным и переменным магнитным полем.

Приборы с электромагнитным преобразователем расхода основаны на взаимодействии движущейся жидкости с магнитным полем. Это взаимодействие подчиняется закону Фарадея, согласно которому в жидкости, пересекающей магнитное поле, индуцируется ЭДС, пропорциональная скорости движения жидкости.

Трубопровод 1 с перемещающейся в нем электропроводной жидкостью помещен в магнитное поле, создаваемое двумя катушками индуктивности (индукторами) 2. В стенки трубопровода введены электроды 3. К электродам подключают высокочувствительный измерительный прибор 4, шкала которого проградуирована в единицах скорости или единицах расхода.

Трубопровод изготавливают из изоляционного материала: фторопласта, эбонита, резины.

В движущемся проводнике, пересекающем силовые линии постоянного магнитного поля, индуцируется ЭДС, которая определяется:  $E = Blv$ , где  $B$  - магнитная индукция;  $l$  - длина проводника;  $v$  - скорость движения проводника.

Ультразвуковые расходомеры

Ультразвуковой (частота выше 20 КГц) метод измерения расхода основан на явлении смещения звукового колебания движущейся жидкой или газообразной средой. Измерение расхода проводится при косвенных измерениях следующих величин:

- разности времен  $\Delta t$  прохождения ультразвуковых импульсов по потоку и против него (временнo-импульсный метод);
- разности фаз  $\Delta \phi$  между ультразвуковыми колебаниями, распространяющимися по потоку и против него (фазовый метод);
- разности частот  $\Delta f$  двух автогенераторов, в качестве элемента обратной связи которых используется контролируемая среда (частотный метод).

Современные расходомеры реализуют времяимпульсный метод.

Расходомер включает в себя два или четыре электроакустических приемопередающих преобразователя А (А') и В (В'), монтируемых с внешней стороны трубопровода. Преобразователи работают в режиме источника и приемника ультразвукового сигнала. Расстояние между преобразователями равно  $L$ .

Вихревые и вихреакустические расходомеры

Принцип действия этих расходомеров основан на явлении, согласно которому при обтекании неподвижного твердого тела потоком жидкости за телом образуется вихревая дорожка, состоящая из вихрей, поочередно срывающихся с противоположных сторон тела.

Частота образования вихрей за телом пропорциональна скорости потока. Детектирование вихрей и определение частоты их образования определяют скорость и объемный расход среды.

В зависимости от способа детектирования частоты вихрей различают вихревые и вихреакустические расходомеры.

В вихревых расходомерах определение частоты вихреобразования производится при помощи двух пьезодатчиков, фиксирующих пульсации давления в зоне вихреобразования.

Конструктивно датчик представляет собой моноблок, состоящий из корпуса проточной части и электронного блока. В корпусе проточной части датчика размещены первичные преобразователи объемного расхода, избыточного давления и температуры.

Электронный блок представляет собой плату цифровой обработки сигналов первичных преобразователей, заключенную в корпус.

**Калориметрические расходомеры**

Принцип действия калориметрических расходомеров основан на нагреве потока жидкости или газа посторонним источником энергии, создающим в потоке разность температур, зависящую от скорости потока и расхода теплоты в нагревателе.

Уравнение теплового баланса между расходом тепла, потребляемым нагревателем, и теплом, сообщенным потоку, имеет вид  $q_t = kQ_m c_p \Delta t$ ,

Тепло к потоку в расходомерах подводится электронагревателями, для которых  $q_t = 0,24I^2 R$ . На основании этих зависимостей получим уравнение массового расхода  $Q_m = 0,24I^2 R / k c_p \Delta t$ .

Существуют два способа измерения массового расхода:

- расход определяют по значению мощности, потребляемой нагревателем и обеспечивающей постоянную разность температур  $\Delta t$ ;

В этом случае расходомеры работают как регуляторы температуры нагрева потока, у которых измерительным и регулирующим элементом является уравновешенный мост с терморезисторами до и после нагревателя. При изменении разности температур мост выходит из равновесия и включает устройство, которое изменяет регулировочное сопротивление до тех пор, пока не восстановится заданная степень нагрева. Массовый расход при этом определяют по показаниям ваттметра, включенного в цепь нагревателя.

## 5. ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ

### 5.1. Общие сведения об измерении уровня

При выборе уровнемера необходимо учитывать физические и химические свойства контролируемой среды, к которым относятся: температура, абразивные свойства, вязкость, электрическая проводимость, химическая агрессивность, а также рабочие условия в резервуаре или около него, способ заполнения или опорожнения (пневматический или механический), наличие мешалки, огнеопасность, взрывоопасность и другие.

Уровнемеры по принципу действия делятся на:

- визуальные;
- поплавковые: для измерения уровня используется поплавок или другое тело, находящееся на поверхности жидкости;
- буйковые: для измерения уровня используется массивное тело (буй), частично погружаемое в жидкость;
- гидростатические: основаны на измерении гидростатического давления столба жидкости;
- электрические: величины электрических параметров зависят от уровня жидкости;
- ультразвуковые: основаны на принципе отражения от поверхности звуковых волн;
- радарные и волноводные: основаны на принципе отражения от поверхности сигнала высокой частоты (СВЧ);
- радиоизотопные: основаны на использовании интенсивности потока ядерных излучений, зависящих от уровня жидкости.

Также уровнемеры делятся на:

- приборы для непрерывного слежения за уровнем;
- приборы для сигнализации о предельных значениях уровня (сигнализаторы уровня).

### 5.2. Средства измерения уровня

**Визуальные уровнемеры**

Простейшими измерителями уровня жидкости служат указательные стекла, работа которых основана на принципе сообщающихся сосудов. Указательное стекло соединяют с сосудом нижним концом (для открытых сосудов) или обоими концами (для сосудов с избыточным давлением или разрежением).

Указательные стёкла снабжают вентилями или кранами для отключения их от сосуда и продувки системы.

В арматуру указательных стекол сосудов, работающих под давлением, вводят предохранительные устройства, автоматически закрывающие каналы в головках при случайной поломке стекла.



Существуют указательные стекла проходящего и отраженного света, они рассчитаны на давление до 2,94 МПа и температуру до 300 °С.

Указательные стекла не рекомендуется употреблять длиной более 0,5 м, поэтому при контроле уровня, изменяющегося больше чем на 0,5 м, устанавливают несколько стекол так, чтобы верх предыдущего стекла перекрывал низ последующего.

#### Поплавковые уровнемеры

Поплавковые уровнемеры изготавливают узкого и широкого диапазонов.

Уровнемеры узкого диапазона представляют собой устройства, содержащие шарообразный поплавков диаметром 80 - 100 мм, выполненный из нержавеющей стали. Поплавок плавает на поверхности жидкости и через штангу соединяется со стрелкой измерительного прибора или преобразователем угловых перемещений в унифицированный электрический или пневматический сигналы.

Поплавковые уровнемеры широкого диапазона представляют собой поплавков 1, связанный с противовесом 4 гибким тросом 2. В нижней части противовеса укреплен стрелка, указывающая по шкале 3 значения уровня жидкости в резервуаре.

#### Буйковые уровнемеры

Работа буйковых уровнемеров основана на законе Архимеда, которое гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует выталкивающая сила  $F$ , пропорциональная весу вытесненной им жидкости.

Чувствительным элементом является цилиндрических буюк, изготовленный из материала с плотностью, большей плотности жидкости. Наиболее часто буюк выполняют в виде трубы из нержавеющей стали длиной  $H_6$ , запаянной с обеих сторон, к одному из концов которой приделан крючок. Буюк находится в вертикальном положении и частично погружен в жидкость. Длина буйка  $H_6$  подбирается приближенной к максимальному измеряемому уровню в аппарате.

При изменении уровня жидкости согласно закону Архимеда вес буйка в жидкости изменяется пропорционально изменению уровня. Выталкивающая сила, действующая на буюк, равна:  $F = \rho_g V_{ж} = \rho_g S h$ ,

Когда уровень жидкости в аппарате равен или меньше начального  $h_0$  (величина  $h_0$  называется зоной нечувствительности уровнемера), измерительная штанга 2, на которую подвешен буюк 1, находится в равновесии, т.к. момент  $M_1$  создаваемый весом буйка уравнивается моментом  $M_2$ , создаваемым противовесом.

Когда уровень жидкости становится больше  $h_0$  (например,  $h$ ), часть буйка длиной  $(h - h_0)$  погружается в жидкость, поэтому вес буйка уменьшается на величину  $F = \rho_g S (h - h_0)$ , и, следовательно, уменьшается и момент  $M_1$ , создаваемый буюком на штанге 2. Т.к.  $M_2$  становится больше  $M_1$  штанга поворачивается вокруг точки  $O$  по часовой стрелке на небольшой угол и перемещает рычаг 3 преобразователя 5, который формирует выходной сигнал уровнемера.

Движение измерительной системы преобразователя происходит до тех пор, пока сумма моментов всех сил, действующих на рычаг 2, не станет равна нулю.

Минимальный верхний предел измерений буйковых уровнемеров - 0,025 м, максимальный - 16 м. Значение верхнего предела измерений приборов выбирается из ряда: 250; 400; 600; 1000; 1600; 2500; 4000; 6000; 8000; 10000 мм.

#### Гидростатические уровнемеры

Эти уровнемеры основаны на определении гидростатического давления, оказываемого жидкостью на дно резервуара. Величина гидростатического давления на дно резервуара  $P_r$  зависит от высоты столба жидкости над измерительным прибором  $h$  и от плотности жидкости, т.е.  $P_r = \rho g h$ , соответственно  $h = P_r / \rho g$ .

Измерение гидростатического давления может проводиться:

1. манометром, подключаемым на высоте, соответствующей нижнему предельному значению уровня;
2. дифференциальным манометром, подключаемым к резервуару на высоте нижнего предельного значения уровня, и к газовому пространству над жидкостью;
3. измерением давления газа (воздуха), прокачиваемого по трубке, опущенной в заполняющую резервуар жидкость на фиксированное расстояние (пьезометрический метод).

1. Применяемый для этих целей манометр может быть любого типа с соответствующими пределами измерений, определяемыми зависимостью  $P_r = \rho g h$ .

При измерении уровня данным способом имеют место погрешности, определяемые классом точности манометра, изменениями плотности жидкости, колебаниями атмосферного давления.

Этот способ непригоден, если сосуд находится под избыточным давлением, т.к. к гидростатическому давлению добавляется избыточное давление над поверхностью жидкости, не учитываемое при данном способе.

2. Более широкое применение получили схемы измерения уровня дифманометрами, которые используются для измерения уровня жидкости под избыточным давлением.

Дифманометр ДД через импульсную трубку плюсовой камеры соединен с резервуаром в его нижней точке, минусовая камера сообщается с атмосферой. В этом случае устраняется погрешность, связанная с колебаниями атмосферного давления, т.к. результирующий перепад давления на дифманометре равен:  $\Delta P = (P_r + P_{атм}) - P_{атм} = P_r$ .

Эта схема используется, если дифманометр расположен на одном уровне с нижней плоскостью резервуара.

Если дифманометр ниже него на высоту  $h_1$ , применяют уравнильные сосуды (УС) для компенсации статического давления, создаваемого столбом жидкости  $h_1$  в импульсной трубке.

При измерении уровня в резервуарах с избыточным давлением  $P_{изб}$  поступает в обе импульсные трубки дифманометра, соответственно, измеряемый перепад давления можно представить в виде:  $\Delta P = \rho g H_{max} - \rho g h$ .

При  $h=0$   $\Delta P = \Delta P_{max}$ , а при  $h = H_{max}$ ,  $\Delta P = 0$ .

В последнее время широкое распространение получили датчики гидростатического давления ДГ.

У них, как и у дифманометров, имеются две измерительные камеры, одна из которых выполнена в виде открытой мембраны, а вторая в виде штуцера.

Данный уровнемер закрепляется непосредственно у дна резервуара, поэтому не имеет импульсных трубок, а значит, отсутствует необходимость в компенсации высоты импульсной трубки.

Схему, представленную на рис. 5.9. в. используют для процессов, где невозможно избежать обильного образования и накопления конденсата в трубе, соединяющей датчик с объемом над жидкостью.

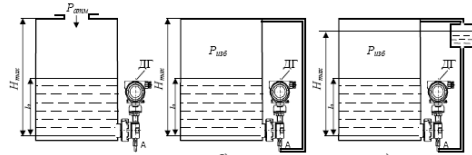


Рис. 5.9. Измерение уровня в резервуарах при помощи датчика гидростатического давления:  
 а – для открытых резервуаров;  
 б – для закрытых резервуаров без уравнильного сосуда;  
 в – для закрытых резервуаров с уравнильным сосудом

В пьезометрических уровнемерах измерение гидростатического давления осуществляется путем измерения давления газа, прокачиваемого по трубке, погруженной на фиксированную глубину в жидкость, заполняющую резервуар.

Его работа основана на принципе гидравлического затвора. Пьезометрическая трубка П помещается в аппарат, в котором измеряется уровень. Воздух или инертный газ продувают через слой жидкости под давлением  $P_p$ , который поступает в трубку через дроссель Д, служащий для ограничения расхода. Давление  $P$  газа после дросселя измеряется дифманометром ДД.

Уровень жидкости определяется по установившемуся давлению в системе:  $P - P_{изб} = \rho_r g$

### Радиоизотопные уровнемеры

Действие прибора основано на сравнении интенсивностей потоков  $\gamma$ -лучей, проходящих выше или ниже уровня раздела двух сред разной плотности.

Преобразователь на фланцах 4 присоединен к вертикальным трубкам 2, установленным внутри объекта измерения. Расположенный в герметичном корпусе преобразователя реверсивный двигатель 6 через червячную передачу 7 вращает барабан 8, на котором укреплен стальной лентой 3. На концах ленты свободно висят источник излучения 1 и приемник излучения 13. Электрический сигнал от приемника излучения через гибкий кабель 11 передается на электронный блок. При перемещении приемника кабель фиксируется в определенном положении при помощи ролика 14 с грузом. Лента 3 проходит через зубчатый ролик 9, на оси которого расположен первичный сельсин 10.

В показывающем приборе 12 находится вторичный сельсин, ось которого через редуктор связана со стрелками прибора, который имеет две шкалы, градуированные в метрах и сантиметрах. Показывающий прибор имеет преобразователь, который преобразует угловое перемещение оси вторичного сельсина, пропорциональное положению уровня, в пневматический сигнал.

Для обеспечения радиационной защиты персонала при монтаже и ремонтных работах внутри объекта измерения источник излучения автоматически перемещается в свинцовый контейнер 5, отверстие в котором закрывается свинцовой пробкой 15, жестко связанной с источником.

Диапазон измерения уровня составляет до 10 м.

#### Ультразвуковые уровнемеры

Ультразвуковые уровнемеры (частота выше 20 КГц) измеряют уровень при отсутствии контакта с измеряемой средой и в труднодоступных местах; в них используется принцип отражения звуковых волн от границы раздела «жидкость - газ».

Прибор состоит из электронного блока (ЭБ), пьезоэлектрического излучателя (преобразователя) и вторичного прибора. Электронный блок состоит из генератора 1, задающего частоту повторения импульсов, генератора импульсов 2, посылаемых в измеряемую среду, приемного усилителя 4 и измерителя времени 5.

Время между моментом посылки импульса и моментом поступления отраженного импульса является функцией высоты измеряемого уровня:  $\tau = 2(H_{\max} - h)/c$ ,

Постоянное напряжение, пропорциональное времени запаздывания отраженного сигнала (уровню), получаемое в измерителе времени, подается на вторичный прибор б.

Ультразвуковые уровнемеры применяются для измерения уровня агрессивных, абразивных, вязких и клейких веществ.

#### 4.3. Лабораторные работы

<i>№ п/п</i>	<i>Номер раздела дисциплины</i>	<i>Наименование лабораторной работы</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерак- тивной, активной, инновационной фор- мах, (час.)</i>
1	2	Термоэлектрические преобразователи. Автоматические потенциометры	4	работа в малой группе (1 ч.)
2	2	Термометры сопротивления. Магнитоэлек- трические логометры	4	работа в малой группе (1 ч.)
3	2	Автоматические уравновешенные мосты	4	работа в малой группе (1 ч.)
4	3	Манометры. Преобразователи давления типа «Сапфир-22»	8	работа в малой группе (1 ч.)
5	4	Измерение расхода	8	работа в малой группе (0,5 ч.)
6	1	Сельсины	8	работа в малой группе (0,5 ч.)
<b>ИТОГО</b>			<b>36</b>	<b>5</b>

#### 4.4. Практические занятия

<i>№ п/п</i>	<i>Номер разде- ла дисци- плины</i>	<i>Наименование практических занятий</i>	<i>Объем (час.)</i>	<i>Вид занятия в интерак- тивной, активной, инновационной фор- мах, (час.)</i>
1	2	Измерение температуры	5	-
2	3	Измерение давления	5	-
3	4	Измерение количества и расхода	4	-
4	5	Измерение уровня	4	-
<b>ИТОГО</b>			<b>18</b>	

#### 4.5. Контрольные мероприятия: курсовой проект (курсовая работа), контрольная работа, РГР, реферат

учебным планом не предусмотрены

**5. МАТРИЦА СООТНЕСЕНИЯ РАЗДЕЛОВ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ К ФОРМИРУЕМЫМ В НИХ КОМПЕТЕНЦИЯМ И ОЦЕНКЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ**

<i>Компетенции</i>  <i>№, наименование разделов дисциплины</i>	<i>Кол-во часов</i>	<i>Компетенции</i>		$\Sigma$ <i>комп</i>	<i>t<sub>ср</sub>, час</i>	<i>Вид учебной работы</i>	<i>Оценка результатов</i>
		<i>ОПК</i>	<i>ПК</i>				
		<i>5</i>	<i>1</i>				
<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>
<b>1.</b> Метрологические основы технических измерений	25	+	+	2	12,5	Лк, ЛР, СРС	Экзамен
<b>2.</b> Измерение температуры	36	+	+	2	18	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	Экзамен
<b>3.</b> Измерение давления и разности давлений	31	+	+	2	15,5	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	Экзамен
<b>4.</b> Измерение количества и расхода вещества	30	+	+	2	15	Лк, ЛР, ПЗ, СРС	Экзамен
<b>5.</b> Измерение уровня	22	+	+	2	11	Лк, ПЗ, СРС	Экзамен
<i>всего часов</i>	<b>144</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>2</b>	<b>72</b>		

## 6. ПЕРЕЧЕНЬ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

1. Темгеновская Т.В. Технические измерения и приборы: Методические указания. – Братск: БрГУ, 2009 - 45 с.

2. Технические измерения и приборы: Методические указания к выполнению контрольной работы / Т.А. Григорьева, В.Н. Толубаев, - Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007.- 26 с.

## 7. ПЕРЕЧЕНЬ ОСНОВНОЙ И ДОПОЛНИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

№	Наименование издания	Вид занятия (Лк, ЛР)	Количество экземпляров в библиотеке, шт.	Обеспеченность, (экз./ чел.)
<b>Основная литература</b>				
1.	Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.	Лк, ЛР	12	1
2.	Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.	Лк, ЛР	60	1
<b>Дополнительная литература</b>				
3.	К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.	Лк, ЛР	15	1
4.	Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.	Лк, ЛР	10	1

## 8. ПЕРЕЧЕНЬ РЕСУРСОВ ИНФОРМАЦИОННО - ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННОЙ СЕТИ «ИНТЕРНЕТ» НЕОБХОДИМЫХ ДЛЯ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

1. Электронный каталог библиотеки БрГУ

[http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r\\_15/cgiirbis\\_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=](http://irbis.brstu.ru/CGI/irbis64r_15/cgiirbis_64.exe?LNG=&C21COM=F&I21DBN=BOOK&P21DBN=BOOK&S21CNR=&Z21ID=).

2. Электронная библиотека БрГУ

<http://ecat.brstu.ru/catalog> .

3. Электронно-библиотечная система «Университетская библиотека online»

<http://biblioclub.ru> .

4. Электронно-библиотечная система «Издательство «Лань»

<http://e.lanbook.com> .

5. Информационная система "Единое окно доступа к образовательным ресурсам"

<http://window.edu.ru> .

6. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU <http://elibrary.ru> .

7. Университетская информационная система РОССИЯ (УИС РОССИЯ)

<https://uisrussia.msu.ru/> .

8. Национальная электронная библиотека НЭБ

<http://xn--90ax2c.xn--plai/how-to-search/> .

## 9. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью выполнения настоящих лабораторных работ является освоение студентами структуры, устройства и принципа действия измерительных приборов и снятия их рабочих характеристик.

Практикум включает 4 лабораторных работы, охватывающих изучение следующих вопросов: магнитоэлектрические логометры, автоматические уравновешенные мосты, автоматические потенциометры, трубчато-пружинные манометры, преобразователи давления типа «Сапфир-22», термоэлектрические преобразователи, термометры сопротивления.

Для каждой работы даны схемы и описания лабораторных установок, методика проведения работы.

Для каждой работы даны схемы и описания лабораторных установок, методика проведения работы. Лабораторный практикум содержит краткие теоретические сведения по материалу лабораторных работ, перечень необходимой для изучения учебной литературы, порядок оформления результатов работ.

При подготовке к выполнению очередной лабораторной работы необходимо ознакомиться с лекционным курсом дисциплины, рекомендованной литературой, с соответствующими разделами настоящего лабораторного практикума.

Проведение лабораторных работ начинается с вводного занятия, на котором преподаватель разбирает общую методику проведения работ, их цели и задачи, устанавливает последовательность их выполнения и знакомит с применяемым оборудованием и приборами, а также излагает основные требования техники безопасности.

Студент допускается к выполнению работы только после предварительной проверки преподавателем его подготовленности к данной работе.

Результаты работы должны быть оформлены в точном соответствии с разделом «Порядок оформления отчета по лабораторной работе» настоящих методических указаний.

Лабораторные работы выполняются группой из 2-3 человек. Отчет по выполненной работе представляется каждой группой. Студент допускается к очередной работе только после представления преподавателю оформленного отчета по предыдущей работе. При сдаче отчета преподаватель опрашивает студентов в объеме материала данной работы.

### 9.1. Методические указания для обучающихся по выполнению лабораторных работ/практических занятий

#### Лабораторная работа №1

#### Термоэлектрические преобразователи. Автоматические потенциометры (Предусмотрен 1 час в интерактивной форме в виде работы в малой группе)

##### Цель работы:

Определение метрологических характеристик (МХ) термопары и измерение температуры с помощью термоэлектрического термометра

##### Порядок выполнения:

Используя термопару и цифровой мультиметр, произвести измерения температуры в помещении несколько раз и обработать полученные данные, согласно приведенной ниже методике.

1. определить среднее арифметическое значение результатов измерений по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ;$$

2. определить выборочную дисперсию по формуле  $D(\Delta x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ;$

3. определить среднее квадратическое отклонение отдельного измерения, характеризующего значение погрешности измерения, по формуле  $\sigma_x(\Delta x) = \sqrt{D(\Delta x)} ;$

4. записать результат измерения в виде  $x = \bar{x} \pm \sigma_x(\Delta x)$

Определить для выданного преподавателем потенциометра:

1. диапазон измерений;

2. цену деления;

3. тип датчика, работающего в комплекте с данным потенциометром;

4. определить чувствительность потенциометра;
5. охарактеризовать шкалу потенциометра.

#### Форма отчетности:

Отчет по лабораторной работе набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист: выполняется на каждую лабораторную работу.
2. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
3. Приборы и оборудование. Паспортные технические данные используемой аппаратуры.
4. Описание схемы лабораторного стенда.
5. Протокол испытаний.
6. Графики зависимости погрешностей от показаний СИ.
7. Результаты расчета метрологических характеристик СИ.
8. Результаты сравнения экспериментальных градуировочных характеристик с паспортными данными (если предусмотрено работой).
9. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель лабораторной работы?
2. Типы термопар.
3. Классификация КСП.
4. Метрологические характеристики применяемых СИ.
5. Принцип действия термопар и КСП.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во 2 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.
2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.
2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

### **Лабораторная работа №2**

#### **Термометры сопротивления. Магнитоэлектрические логометры.**

*(Предусмотрен 1 час в интерактивной форме в виде работы в малой группе)*

#### Цель работы:

Определение метрологических характеристик термометра сопротивления и магнитоэлектрического логометра и измерение температуры с их помощью.

#### Порядок выполнения:

Используя термометр сопротивления и магнитоэлектрический логометр, произвести измерения температуры объекта, указанного преподавателем несколько раз и обработать полученные данные, согласно приведенной ниже методике.

5. определить среднее арифметическое значение результатов измерений по формуле

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ;$$



6. определить выборочную дисперсию по формуле  $D(\Delta x) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2$  ;

7. определить среднее квадратическое отклонение отдельного измерения, характеризующего значение погрешности измерения, по формуле  $\sigma_x(\Delta x) = \sqrt{D(\Delta x)}$  ;

8. записать результат измерения в виде  $x = \bar{x} \pm \sigma_x(\Delta x)$

Определить для выданного преподавателем логометра:

1. диапазон измерений;
2. цену деления;
3. тип датчика, работающего в комплекте с данным логометром;
4. определить чувствительность логометра;
5. охарактеризовать шкалу логометра.

#### Форма отчетности:

Отчет по лабораторной работе набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист: выполняется на каждую лабораторную работу.
2. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
3. Приборы и оборудование. Паспортные технические данные используемой аппаратуры.
4. Описание схемы лабораторного стенда.
5. Протокол испытаний.
6. Графики зависимости погрешностей от показаний СИ.
7. Результаты расчета метрологических характеристик СИ.
8. Результаты сравнения экспериментальных градуировочных характеристик с паспортными данными (если предусмотрено работой).
9. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы применяемых СИ.
3. Устройство и принцип действия термометров сопротивления.
4. Устройство и принцип действия магнитоэлектрических логометров.
5. Типы термометров сопротивления и магнитоэлектрических логометров.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во 2 разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

##### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

### **Лабораторная работа №3**

#### **Автоматические уравновешенные мосты**

*(Предусмотрен 1 час в интерактивной форме в виде работы в малой группе)*

#### Цель работы:

Научиться проводить сборку и испытание схемы для измерения температуры с помощью термометра сопротивления и автоматического уравновешенного моста типа КСМ-2

#### Порядок выполнения:

Используя термометр сопротивления и автоматический уравновешенный мост типа КСМ-2, произвести измерения температуры объекта, указанного преподавателем несколько раз и обработать полученные данные, согласно приведенной методике.

Определить для выданного преподавателем моста:

1. диапазон измерений;
2. цену деления;
3. тип датчика, работающего в комплекте с данным мостом;
4. определить чувствительность моста;
5. охарактеризовать шкалу моста.

#### Форма отчетности:

Отчет по лабораторной работе набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист: выполняется на каждую лабораторную работу.
2. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
3. Приборы и оборудование. Паспортные технические данные используемой аппаратуры.
4. Описание схемы лабораторного стенда.
5. Протокол испытаний.
6. Графики зависимости погрешностей от показаний СИ.
7. Результаты расчета метрологических характеристик СИ.
8. Результаты сравнения экспериментальных градуировочных характеристик с паспортными данными (если предусмотрено работой).
9. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы применяемых СИ.
3. Мостовые схемы
4. Погрешности измерения сопротивления.
5. Принцип действия, устройство и типы мостов.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным во 2 разделе данной дисциплины.

##### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

##### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

### **Лабораторная работа №4**

#### **Манометры. Преобразователи давления типа «Сапфир-22»**

*(Предусмотрен 1 час в интерактивной форме в виде работы в малой группе)*

#### Цель работы:

Проведение измерений давления в резервуаре с помощью манометров и преобразователей давления

#### Порядок выполнения:

1. Подать напряжение на электроустановку.
2. Кнопкой «Пуск» подать давление на установку и выдержать время заполнения воздушного резервуара в течение 1,5 – 2 минут.
3. С помощью регулятора добиться совпадения стрелки миллиамперметра с первой отметкой шкалы.
4. Записать в таблицу-протокол показания манометра.
5. Повторить действия 4 и 5 для остальных отметок шкалы.
6. Аналогично снять данные при обратном ходе.
7. Определить порог чувствительности по давлению: установить стрелку прибора последовательно на три равномерно выбранные по шкале отметки, определить минимальные изменения входного сигнала, при котором заметно перемещение указателя прибора.
8. Кнопкой «Стоп» прекратить подачу давления, сдать рабочее место преподавателю.
9. Построить графики зависимости показаний миллиамперметра от показаний манометра при прямом и обратном ходе.

#### Форма отчетности:

Отчет по лабораторной работе набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист: выполняется на каждую лабораторную работу.
2. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
3. Приборы и оборудование. Паспортные технические данные используемой аппаратуры.
4. Описание схемы лабораторного стенда.
5. Протокол испытаний.
6. Графики зависимости погрешностей от показаний СИ.
7. Результаты расчета метрологических характеристик СИ.
8. Результаты сравнения экспериментальных градуировочных характеристик с паспортными данными (если предусмотрено работой).
9. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы применяемых СИ.
3. Виды давления, единицы измерения.
4. Принцип действия, устройство аналогового дифференциального датчика давления, грузопоршневого манометра, трубчато-пружинного манометра.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в 3 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.
2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.
2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## Лабораторная работа №5

### Измерение расхода

(Предусмотрены 0,5 часа в интерактивной форме в виде работы в малой группе)

#### Цель работы:

Измерение расхода газа датчик AWM 5104VN и тарировка реометра

#### Порядок выполнения:

1. В качестве источника давления используется специальная компрессорная станция настольного типа ТТ КС. Станция позволяет создавать давление на выходной магистрали до 1,5 кгс/см<sup>2</sup>. Давление можно устанавливать в двух режимах: ручном и автоматическом. В автоматическом режиме станция поддерживает давление около 1,5 кгс/см<sup>2</sup>. В ручном режиме можно выставить произвольное давление в диапазоне до 1,5 кгс/см<sup>2</sup>. Предусмотрен сброс давления в магистрали до атмосферного, а также плавное регулирование расхода при отборе из магистрали. Датчик расхода газа AWM 5104VN позволяет измерять расход газа в диапазоне 0 – 20 л/мин.

2. Запустить программу ТТ1\_1.exe, выбрать иконку «расход», что приведет к появлению на экране монитора схемы измерения расхода газа.

3. Перед началом работы закрыть регулятор расхода газа до упора. После запуска компрессорной станции, на манометре будет наблюдаться рост давления в магистрали.

4. Медленно открывая регулятор расхода установить такое значение расхода газа при котором столбик воды в реометре будет находиться у крайней верхней точки шкалы, а на экране монитора будет отображаться расход газа в куб.см./мин. При выборе иконки «занести в список» эти показания заносятся в столбец d Ризм ,куб.см./мин., а показания реометра заносятся , в режиме ручного ввода с помощью клавиатуры, в столбец dРручн.куб.см./мин . , а также производится соответствующая отметка на шкале реометра.

5. Уменьшая расход газа в магистрали, каждый раз на 10%, произвести занесение в список результатов измерений значений расхода в этих точках и также выполнив соответствующие отметки на шкале реометра.

6. Закончив тарировку реометра выключить компрессорную станцию. Закрыть программу.

#### Форма отчетности:

Отчет по лабораторной работе набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист: выполняется на каждую работу.
2. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
3. Приборы и оборудование. Паспортные технические данные используемой аппаратуры.
4. Описание схемы лабораторного стенда.
5. Протокол испытаний.
6. Результаты обработки экспериментальных данных.
7. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы используемых СИ, принцип их действия.
3. Объяснить полученные результаты работы.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в 4 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учеб-

ное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## **Лабораторная работа №6**

### **Сельсины**

*(Предусмотрены 0,5 часа в интерактивной форме в виде работы в малой группе)*

#### Цель работы:

Изучение устройства и принципа действия сельсин

#### Порядок выполнения:

1. Индикаторный режим: переключатели в положении 2.

Задавая угол поворота на сельсине-датчике, снять показания со шкалы сельсина-приемника.

Отсчеты выполнять по указанным преподавателем отметкам при прямом и обратном ходе.

По результатам измерений определить:

- погрешность СП;
- вариацию показаний;
- построить градуировочную характеристику.

2. Трансформаторный режим: переключатели в положении 1. Задавая угол поворота на СД, наблюдаем за показанием вольтметра.

Отсчеты выполнять по указанным преподавателем отметкам при прямом и обратном ходе.

По результатам измерений определить:

- цену деления вольтметра;
- диапазон вольтметра;
- класс точности вольтметра;
- построить градуировочную характеристику.

#### Форма отчетности:

Отчет по лабораторной работе набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист: выполняется на каждую работу.
2. Порядковый номер и наименование лабораторной работы.
3. Приборы и оборудование. Паспортные технические данные используемой аппаратуры.
4. Описание схемы лабораторного стенда.
5. Протокол испытаний.
6. Результаты обработки экспериментальных данных.
7. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы используемых СИ, принцип их действия.
3. Объяснить полученные результаты работы.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в 1 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## Практическое занятие №1 Измерение температуры

### Цель работы:

Решение практических задач по измерению температуры

### Порядок выполнения:

1. Температура в термостате измерялась техническим термометром со шкалой 0—500 °С, имеющим пределы допускаемой основной погрешности  $\pm 4^\circ\text{C}$ . Показания термометра составили 346°С. Одновременно с техническим термометром в термостат был погружен лабораторный термометр, имеющий свидетельство о поверке. Показания лабораторного термометра составили 352 °С, поправка по свидетельству составляет  $-1^\circ\text{C}$ , поправка на выступающий столбик равна  $+0,5^\circ\text{C}$ . Определите, выходит ли за пределы допускаемой основной погрешности действительное значение погрешности показаний технического термометра.

2. Милливольтметр имеет равномерную шкалу, разделенную на 50 интервалов. Нижний предел измерения -10 мВ, верхний + 10 мВ. Определите цену деления шкалы и чувствительность милливольтметра.

3. Зависят ли коэффициенты преобразования медного и платинового термометров сопротивления от температуры, если известно, что сопротивления связаны с температурой выражениями  $R_t = R_0(1 + \alpha t)$  для медного термометра,  $R_t = R_0(1 + At + Bt^2)$  для платинового термометра.

4. При проверке автоматического потенциометра со шкалой 0—500 °С для градуировки типа К (никельхром — никельалюминий, хромель-алюмель) выяснилось, что стрелка и перо прибора смещены относительно нулевой отметки на 10 °С в сторону завышения. Как должна быть учтена эта систематическая погрешность измерения температуры при обработке диаграммной бумаги, например на отметке 430 °С?

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

6. Оцените изменение показаний манометрического газового термометра за счет изменения температуры внешней среды на 30 °С, если известно соотношение объемов капилляра  $V_K$ , пружины  $V_{\text{п}}$  и баллона  $V_U$ :

7. Определите, какое начальное давление должно быть создано в системе манометрического газового термометра при 0 СС, чтобы при изменении температуры от 0 до 500 °С давление в системе изменялось на 10 МПа. Термический коэффициент расширения газа  $\beta_5 = 0,00366 \text{ K}^{-1}$ .

8. По условиям задачи 1.7. определите, какое относительное изменение показаний вызовет изменение барометрического давления  $p_B$  на 0,005 МПа на отметках шкалы 0 и 500 °С.

9. Будет ли изменяться термо-ЭДС термоэлектрического термометра типа ХК при изменении температуры рабочего конца, но при сохранении разности температур рабочего конца и свободных концов, например  $E(300, 50^\circ\text{C})$  и  $E(600, 350^\circ\text{C})$ ?

10. В печь для поверки помещено несколько термоэлектрических термометров, о которых известно, что они стандартные, но их тип неизвестен. Свободные концы термометров помещены в термостат, температура в котором поддерживается постоянной, но ее значение также неизвестно. Можно ли определить тип термоэлектрических термометров, если температура в печи известна и может изменяться в интервале от 300 до 600 °С, а термо-ЭДС измеряется лабораторным потенциометром?

### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист
2. Порядковый номер и наименование работы.
3. Решения задач с полным объяснением.
4. Выводы по работе.

### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы рассматриваемых СИ.
3. Объяснить представленные решения задач.

### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в 2 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## **Практическое занятие №2 Измерение давления**

### Цель работы:

Решение практических задач по измерению давления

### Порядок выполнения:

1. Как изменятся показания ртутного U-образного манометра, если барометрическое давление уменьшилось на 7 кПа при неизменном абсолютном измеряемом давлении? Температура окружающей среды и ускорение свободного падения остаются нормальными.

2. Определите цену деления чашечного манометра в единицах давления; если он заполнен ртутью. Диаметр минусовой трубки 6, диаметр плюсового сосуда 60 мм. Деления на шкале нанесены через 1 мм. Условия измерения: 0°C; 80,665 м/с<sup>2</sup>.

3. Длина столбика жидкости в трубке микроманометра составляла 95 делений при постоянной шкалы прибора  $K = 0,6$ . Изменится ли относительная погрешность измерения давления, если трубку установить в положение, при котором постоянная шкалы прибора  $C = 0,3$ ?

4. Определите цену деления спиртового микроманометра с наклонной трубкой, если диаметр трубки 4 мм, диаметр плюсового сосуда 70 мм, угол наклона трубки микроманометра 48° 23', плотность спирта (концентрация 96 %) в условиях градуировки при 20 °C  $\rho_{20} = 808$  кг/м<sup>3</sup>. Расстояние между отметками шкалы равно 1 мм. Ускорение свободного падения — нормальное. Определите поправочный множитель на изменение плотности спирта, если микроманометр работает при температуре 35 °C ( $\rho_{ад} = 793$  кг/м<sup>3</sup>).

5. Чувствительным элементом тягомеров является мембранная коробка, составленная из двух гофрированных мембран. В одном случае коробка прикреплена к корпусу штуцером, в другом — к корпусу в месте соединения мембран. Одинаковы ли в этих случаях коэффициенты преобразования мембранных коробок?

6. Манометрические трубчатые пружины изготовлены из одинакового материала, имеют одинаковую толщину стенок, одинаковый радиус и размер  $a$ . Коэффициент преобразования какой из трубчатых пружин будет наибольшим и как он зависит от центрального угла  $\gamma$  и размера?

7. Определите погрешность манометра с токовым выходным сигналом (0—5 мА) с пределами измерения 0—4 МПа, если при измерении давления 3,2 МПа выходной сигнал составил  $I = 3,93$  мА.

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

### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист
2. Порядковый номер и наименование работы.
3. Решения задач с полным объяснением.
4. Выводы по работе.

### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы рассматриваемых СИ.
3. Объяснить представленные решения задач.

### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в 3 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## **Практическое занятие №3 Измерение количества и расхода**

### Цель работы:

Решение практических задач по измерению количества и расхода

### Порядок выполнения:

1. Какие единицы измерения приняты для расхода в системе СИ и как они связаны между собой?

2. По трубе диаметром  $D=100$  мм движется поток жидкости со средней скоростью  $v_c = 1,5$  м/с. Определите массовый расход жидкости, если ее плотность  $\rho = 990$  кг/м<sup>3</sup>.

3. В трубе с движущимся потоком установлены две напорные трубки (рис. 5.1). Какое давление (статическое, динамическое или полное) установится в каждой из этих трубок и чему будет равна разность этих давлений? Как будет изменяться давление в напорных трубках при изменении скорости потока при неизменном статическом давлении?

4. Определите перепад давления, создаваемый напорными трубками, если поток воды движется со скоростью  $0,1$  м/с, плотность воды  $\rho = 985$  кг/м<sup>3</sup>, коэффициент трубки  $\beta = 0,97$ .

5. Определите расход дымовых газов через цилиндрический трубопровод, если перепад давления на напорной трубке  $\Delta p = 50$  кгс/м<sup>2</sup>. Диаметр трубопровода  $D = 200$  мм, коэффициент трубки  $\beta = 0,98$ , плотность газов  $\rho = 0,405$  кг/м<sup>3</sup>. Трубка установлена на расстоянии  $23,8$  мм от стенки трубопровода. Кинематическая вязкость газов  $\nu = 93,6 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с

6. Какие сужающие устройства называются стандартными и при каких условиях возможно их применение для измерения расхода?

7. При установке диафрагмы в трубопроводе предполагалось, что номинальный расход среды составляет  $230$  т/ч, диафрагма была рассчитана на  $Q_{MaKC} = 250$  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.



8. Расход воды в трубопроводе диаметром 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  $k'=1,0023$ .

9. Сопло Вентури (длинное) используется на насосной станции в схеме регулирования расхода воды. Относительная площадь сопла  $\tau = 0,25$ . Автоматический регулятор поддерживает постоянным перепад давления на сопле, равный 35 кПа. Расчетная температура воды  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , однако в дневное время температура воды поднимается до  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а в ночное время опускается до  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Определите, на сколько процентов будет увеличиваться или уменьшаться действительное значение расхода в дневное и ночное время. Давление воды 0,6 МПа.

10. Через диафрагму, установленную в трубопроводе, протекает сернистый газ, расходные характеристики для которого были получены при нормальных условиях:  $t_N = 20^{\circ}\text{C}$ ,  $p_N = 101,322$  кПа и влажности  $\varphi_N = 0$ . Однако в реальных условиях  $t = 25^{\circ}\text{C}$ ,  $P=0,13$  МПа и  $\varphi = 30\%$ . Определите поправочный коэффициент для пересчета показаний расходомера на нормальные условия.

#### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист
2. Порядковый номер и наименование работы.
3. Решения задач с полным объяснением.
4. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы рассматриваемых СИ.
3. Объяснить представленные решения задач.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

#### Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в 4 разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.
2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.
2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## **Практическое занятие №4** **Измерение уровня**

#### Цель работы:

Решение практических задач по измерению уровня

#### Порядок выполнения:

1. Уровень воды в барабане парогенератора измеряется водомерным стеклом. Давление пара в барабане 10 МПа, вода в барабане находится при температуре насыщения. Действительное значение уровня  $h = 0,5$  м. Определите уровень в водомерном стекле  $h$ , если температура воды в водомерном стекле  $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

2. Для условия задачи 3.1 определите, как изменится погрешность измерения уровня, если перед измерением водомерное стекло было продуто и температура воды в стекле стала 300 °С.

3. Изменение уровня воды в открытом резервуаре  $H_{\text{макс}}$  может достигать 3 м. Можно ли для измерения уровня гидростатическим методом использовать мембранный дифманометр с предельным номинальным перепадом 40 кПа, если он будет расположен ниже минимального уровня на  $h = 3$  м. Минусовая камера дифманометра соединена с атмосферой.

4. Уровень воды в емкости измеряется гидростатическим способом по схеме, изображенной на рис. 4.3. 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<sup>3</sup>. При  $H = 0$  уровни воды в обеих импульсных трубках равны. Температура окружающей среды и воды в емкости и трубках 20 °С.

5. Как изменятся показания уровнемера, отградуированного при давлении 0,1 МПа, если давление насыщения в барабане поднимается до 10 МПа?

6. Давление в барабане котла при неизменном уровне изменилось от 10 до 20 МПа, что вызвало соответствующее изменение температуры насыщения. Будет ли погрешность измерения уровня, вызванная изменением параметров, в схемах рис. 4.6 и 4.7 одинаковой? Температура воды в импульсных трубках равна 30 °С,  $H_{\text{макс}} = 500$  мм. Температура воды в барабане и сосуде одинаковы.

7. На рис. 4.15 представлена схема буйкового уровнемера. Рассчитайте плечо  $l$  подвеса буйка уровнемера, предназначенного для измерения уровня в сосуде под давлением в интервале —250-Н- $f$ -250 мм относительно номинального значения. Плотность жидкости  $\rho_{\text{ж}} = 1300$  кг/м<sup>3</sup>, средняя объемная плотность буйка  $\rho_{\text{б}} = 2000$  кг/м<sup>3</sup>, 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 уравновешивающей пружины  $b = 100$  мм, упругость пружины  $C = 20$  Н/мм, начальная сила натяжения пружины 10 Н. Расстояние от точки опоры до места подвеса буйка / может устанавливаться в пределах от 0,2 до 1,5 м.

#### Форма отчетности:

Отчет по практическому занятию набирается на компьютере и сдается в печатном виде. В отчете должны присутствовать:

1. Титульный лист
2. Порядковый номер и наименование работы.
3. Решения задач с полным объяснением.
4. Выводы по работе.

#### Вопросы для защиты

1. Цель работы?
2. Типы рассматриваемых СИ.
3. Объяснить представленные решения задач.

#### Задания для самостоятельной работы:

Предусмотрены вариантом студента.

Рекомендации по выполнению заданий и подготовке к лабораторной работе/ семинару/ практическому занятию

Ознакомиться с теоретическим материалом, представленным в пятом разделе данной дисциплины.

#### Основная литература

1. Шишмарев, В. Ю. Технические измерения и приборы: учебник / В. Ю. Шишмарев. - Москва : Академия, 2010. - 384 с.

2. Иванова, Г. М. Теплотехнические измерения и приборы : учебник для вузов / Г. М. Иванова, Н. Д. Кузнецов, В. С. Чистяков. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва: Машиностроение, 2005. - 460 с.

#### Дополнительная литература

1. К.К. Ким. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника: Учебное пособие/К.К. Ким, Г.Н. Анисимов, В.Ю. Барбарович. –СПб.: Питер, 2008. – 368 с.: ил.

2. Тартаковский, Д. Ф. Метрология, стандартизация и технические средства измерений: учебник для вузов / Д. Ф. Тартаковский, А. С. Ястребов. - 2-е изд., перераб. и доп. - Москва : Высшая школа, 2008. - 213 с.

## 10. ПЕРЕЧЕНЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ ОСУЩЕСТВЛЕНИИ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

- ОС Windows 7 Professional
- Microsoft Office 2007 Russian Academic OPEN No Level
- Антивирусное программное обеспечение Kaspersky Security

## 11. ОПИСАНИЕ МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ БАЗЫ, НЕОБХОДИМОЙ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА ПО ДИСЦИПЛИНЕ

<i>Вид занятия</i>	<i>Наименование аудитории</i>	<i>Перечень основного оборудования</i>	<i>№ ЛР или Лк</i>
<b>1</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>
Лк	Ауд.1354 Лаборатория технических средств автоматизации и измерений	Лабораторный стенд "Поверка КИП"	Лк
ЛР	Ауд.1354 Лаборатория технических средств автоматизации и измерений	Лабораторные стенды: «Измерение давления», «Поверка КИП» персональные компьютеры	ЛР №1-6
ПЗ	Ауд.1354 Лаборатория технических средств автоматизации и измерений	Лабораторные стенды: «Измерение давления», «Поверка КИП» персональные компьютеры	ПЗ №1-4
СР	ЧЗЗ	-	-

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ  
ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)**

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	1. Метрологические основы технических измерений	1.1. Средства измерений и их классификация 1.2. ГСП. Принципы построения ГСП 1.3. Измерительный преобразователь и их классификация	Экзаменационный билет
		2. Измерение температуры	2.1. Общие сведения об измерении температуры 2.2. Средства измерения температуры.	Экзаменационный билет
ПК-1	способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств	3. Измерение давления и разности давлений	3.1. Общие сведения об измерении давления 3.2. Средства измерения давления	Экзаменационный билет
		4. Измерение количества и расхода вещества	4.1. Общие сведения об измерении количества и расхода вещества 4.2. Средства измерения количества и расхода вещества	Экзаменационный билет
		5. Измерение уровня	5.1. Общие сведения об измерении уровня 5.2. Средства измерения уровня	Экзаменационный билет

**2. Экзаменационные вопросы**

№ п/п	Компетенции		ЭКЗАМЕНАЦИОННЫЕ ВОПРОСЫ	№ и наименование раздела
	Код	Определение		
1	2	3	4	5
1	ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	1.1. Средства измерений и их классификация 1.2. ГСП. Принципы построения ГСП 1.3. Измерительный преобразователь и их классификация 1.4. Классификация выходных сигналов. 2.1. Измерение температуры. Классификация СИ температуры 2.2. Термометры расширения: жидкостные, dilatометрические, биметаллические. 2.3. Манометрические термометры. 2.4. Термоэлектрические термометры: устройство, принцип действия, типы. 2.5. Термопреобразователи сопротивления: устройство, принцип действия, типы. 2.6. Бесконтактные методы измерения	1. Метрологические основы технических измерений  2. Измерение температуры

2	ПК-1	способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств	температуры: пирометры, радиометры, тепловизоры.	
			3.1. Измерение давления. Виды измеряемых давлений. Системные и внесистемные единицы измерения давления. 3.2. Классификация СИ давления. 3.3. Жидкостные манометры. 3.4. Деформационные датчики давления. 3.5. Электрические датчики давления. 3.6. Манометры с дифференциально-трансформаторной системой.	3. Измерение давления и разности давлений
			4.1. Измерение расхода: расходомеры переменного перепада давления. 4.2. Расходомеры постоянного перепада давления. 4.3. Электромагнитные расходомеры. 4.4. Ультразвуковые расходомеры. 4.5. Расходомеры Кориолиса. 4.6. Вихревые и вихреакустические расходомеры. 4.7. Скоростные счетчики для жидкостей 4.8. Ротационные счётчики для газов	4. Измерение количества и расхода вещества
			5.1. Измерение уровня. Классификация приборов для измерения уровня. 5.2. Визуальные уровнемеры. Поплавковые уровнемеры. Буйковые уровнемеры 5.3. Гидростатические уровнемеры. 5.4. Электрические уровнемеры. 5.5. Ультразвуковые уровнемеры.	5. Измерение уровня

### 3. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<p><b>Знать</b> (ОПК-5): приёмы и методы обработки и представления экспериментальных данных (ПК-1): принципы действия, устройство измерительной аппаратуры теплотехнических величин</p> <p><b>Уметь</b> (ОПК-5): проводить измерения и обрабатывать экспериментальные данные (ПК-1): измерять теплотехнические величины и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств</p> <p><b>Владеть</b></p>	<b>отлично</b>	<p>Студент должен во время ответа показать знания принципов действия, устройства СИ для измерения теплотехнических величин, метрологических характеристик СИ, знания основных терминов, используемых в научно-технической литературе по измерительной технике, а также приёмы и методы обработки и представления экспериментальных данных. Студент должен иметь навыки владения: основными методами измерений и обработки результатов измерений, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных, а также понимания материала и способности высказывания мыслей на научно-техническом языке. Студент во время ответа должен продемонстрировать умения измерять теплотехнические величины и обрабатывать экспериментальные данные с применением современных информационных технологий и технических средств</p>

(ОПК-5): навыками использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных (ПК-1): основными методами измерений и обработки результатов	<b>хорошо</b>	Ответ содержит неточности. Дополнительные вопросы требуются, но студент с ними справляется отлично.
	<b>удовлетворительно</b>	Ответил только на один вопрос, либо слабо ответил на оба вопроса. На дополнительные вопросы отвечает неуверенно.
	<b>неудовлетворительно</b>	На оба вопроса студент отвечает неуверенно. На дополнительные вопросы преподавателя также не может ответить.

#### **4. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и опыта деятельности**

Дисциплина «Технические измерения» направлена на ознакомление с методами и современными средствами измерений теплотехнических величин, их устройством и принципом действия, а также с обработкой экспериментальных данных, на формирование знаний и умений, необходимых при работе с измерительной аппаратурой.

Изучение дисциплины предусматривает:

- лекции,
- лабораторные работы,
- практические занятия,
- самостоятельную работу,
- экзамен.

В ходе освоения раздела «Метрологические основы технических измерений» студенты должны ознакомиться с классификацией средств измерений, Государственной системой промышленных приборов и средств автоматизации, принципами ее построения, а также с типами измерительных преобразователей и видами выходных сигналов.

В ходе освоения разделов «Измерение температуры», «Измерение давления и разности давлений», «Измерение уровня», «Измерение количества и расхода вещества» студенты должны получить навыки измерения теплотехнических величин, обработки экспериментальных данных, знать основные принципы построения и особенности измерительной техники теплотехнических величин.

В процессе проведения лабораторных работ и практических занятий происходит формирование практических навыков работы с измерительной техникой, с проведением измерительных операций, определением метрологических характеристик применяемой измерительной аппаратуры, формирование умений и навыков проведения расчетов и обработки результатов измерений, а также закрепление знаний, полученных на лекциях и при самостоятельной работе.

Проведение экзамена направлено на выявление знаний студентов по изучаемой дисциплине. Основные показатели, критерии оценивания уровня освоения компетенций, а также вопросы к экзамену приведены в приложении 1.

Работа с литературой является важнейшим элементом в получении знаний по дисциплине. Прежде всего, необходимо воспользоваться списком рекомендуемой по данной дисциплине литературой. Дополнительные сведения по изучаемым темам можно найти в периодической печати и Интернете.

## **АННОТАЦИЯ**

### **рабочей программы дисциплины**

### **Технические измерения**

#### **1. Цель и задачи дисциплины**

Целью изучения дисциплины является обучение наиболее распространенным схемам измерения теплотехнических величин, подготовке и проведению измерений, обработке их результатов с применением современных информационных технологий и технических средств.

Задачей изучения дисциплины является приобретение навыков и умений использования существующих средств измерения теплотехнических величин, проведения измерений и обработке их результатов.

#### **2. Структура дисциплины**

2.1 Распределение трудоемкости по отдельным видам учебных занятий, включая самостоятельную работу: лекции – 36 часов, лабораторные работы – 36 часов, практические занятия – 18 часов, самостоятельная работа студентов – 54 часа.

Общая трудоемкость дисциплины составляет 180 часов, 5 зачетных единиц

2.2 Основные разделы дисциплины:

1. Метрологические основы технических измерений.
2. Измерение температуры
3. Измерение давления и разности давлений
4. Измерение количества и расхода вещества
5. Измерение уровня

#### **3. Планируемые результаты обучения (перечень компетенций)**

Процесс изучения дисциплины направлен на формирование компетенций:

ОПК-5- способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных

ПК-1 - способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств

#### **4. Вид промежуточной аттестации: экзамен**

## ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ УСПЕВАЕМОСТИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 1. Описание фонда оценочных средств (паспорт)

№ компетенции	Элемент компетенции	Раздел	Тема	ФОС
ОПК-5	способность использовать основные приемы обработки и представления экспериментальных данных	1. Метрологические основы технических измерений	1.1. Средства измерений и их классификация 1.2. ГСП. Принципы построения ГСП 1.3. Измерительный преобразователь и их классификация	Отчеты по ЛР Вопросы для собеседования
		2. Измерение температуры	2.1. Общие сведения об измерении температуры 2.2. Средства измерения температуры.	Отчеты по ЛР Отчеты по ПЗ
ПК-1	способность выполнять эксперименты на действующих объектах по заданным методикам и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств	3. Измерение давления и разности давлений	3.1. Общие сведения об измерении давления 3.2. Средства измерения давления	Отчеты по ЛР Отчеты по ПЗ
		4. Измерение количества и расхода вещества	4.1. Общие сведения об измерении количества и расхода вещества 4.2. Средства измерения количества и расхода вещества	Отчеты по ЛР Отчеты по ПЗ Вопросы для собеседования
		5. Измерение уровня	5.1. Общие сведения об измерении уровня 5.2. Средства измерения уровня	Отчеты по ПЗ Вопросы для собеседования

#### Вопросы для собеседования

1. Средства измерений и их классификация
2. ГСП. Принципы построения ГСП
3. Измерительный преобразователь и их классификация
4. Общие сведения об измерении количества и расхода вещества
5. Средства измерения количества и расхода вещества
6. Общие сведения об измерении уровня
7. Средства измерения уровня

### 2. Описание показателей и критериев оценивания компетенций

Показатели	Оценка	Критерии
<b>Знать</b> (ОПК-5): приёмы и методы обработки и представления экспериментальных данных (ПК-1): принципы действия, устройство измерительной аппаратуры теплотех-	<b>зачтено</b>	Во время защиты работ студент ответил на поставленные преподавателем вопросы, показав знания: принципов действия, устройства СИ для измерения теплотехнических величин, метрологических характеристик СИ, знания основных терминов, используемых в научно-технической литературе по



<p>нических величин</p> <p><b>Уметь</b> (ОПК-5): проводить измерения и обрабатывать экспериментальные данные</p> <p>(ПК-1): измерять теплотехнические величины и обрабатывать результаты с применением современных информационных технологий и технических средств</p> <p><b>Владеть</b> (ОПК-5): навыками использования основных приемов обработки и представления экспериментальных данных</p>		<p>измерительной технике, а также приёмы и методы обработки и представления экспериментальных данных;</p> <p>показав навыки владения: основными методами измерений и обработки результатов измерений, основными приемами обработки и представления экспериментальных данных;</p> <p>демонстрируя умения: измерять теплотехнические величины и обрабатывать экспериментальные данные с применением современных информационных технологий и технических средств</p>
<p>(ПК-1): основными методами измерений и обработки результатов</p>	<p><b>незачтено</b></p>	<p>Во время защиты работ студент не смог дать ответы на поставленные преподавателем вопросы. Либо отчет по лабораторным (практическим) работам вызывает нарекания.</p>