

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего профессионального образования  
«Томский государственный университет систем управления и  
радиоэлектроники»  
(ТУСУР)

Кафедра радиоэлектронных технологий и экологического мониторинга  
(РЭТЭМ)

УТВЕРЖДАЮ  
Заведующий каф. РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ В.И. Туев  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2017 г.

## БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ПРОИЗВОДСТВ

Учебное-методическое пособие  
для выполнения лабораторных работ студентами

Разработал:  
  
Доцент каф. РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ В.С. Солдаткин

Томск 2017

Солдаткин В.С. Безопасность технологических процессов и производств: Учебное-методическое пособие для выполнения лабораторных работ студентами – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2017. – 33с.

Настоящее учебное-методическое пособие составлено с учетом требований Федерального Государственного образовательного стандарта высшего образования (ФГОС ВО) для магистров, обучающихся по направлению подготовки 20.04.01 «Техносферная безопасность» содержит описание лабораторных работ курса дисциплины «Безопасность технологических процессов и производств» и направлено на формирования у студентов следующих компетенций:

*ОК-6* – способностью обобщать практические результаты работы и предлагать новые решения, к резюмированию и аргументированному отстаиванию своих решений;

*ПК-14* – способностью организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания на уровне предприятия, территориально-производственных комплексов и регионов, а также деятельность предприятия в режиме чрезвычайной ситуации;

В результате изучения дисциплины студент должен:

**Знать** основы контроля, мониторинга и анализа ситуации в части безопасности технологических процессов и производств, основные нормы и правила, основы предупреждения чрезвычайных ситуаций, основы организации и руководства подразделениями по защите среды обитания на уровне предприятия, территориально-производственных комплексов и регионов, а также основы организации и руководства предприятия в режиме чрезвычайной ситуации.

**Уметь** проводить мониторинг, анализировать и принимать меры для обеспечения безопасности технологических процессов и производств, организовывать и руководить деятельностью подразделений по защите среды обитания на уровне предприятия, территориально-производственных комплексов и регионов, а также деятельность предприятия в режиме чрезвычайной ситуации.

**Владеть** навыками контроля, анализа и организации безопасности технологических процессов и производств, навыками организации и руководства подразделениями по защите среды обитания на уровне предприятия, территориально-производственных комплексов и регионов, а также основы организации и руководства предприятия в режиме чрезвычайной ситуации.

## **ТРЕБОВАНИЯ К ТЕХНИКЕ БЕЗОПАСНОСТИ**

Перед началом лабораторных работ студенты должны получить инструктаж по технике безопасности в лаборатории и ознакомиться с правилами эксплуатации приборов и другого оборудования, используемого при выполнении работ. Инструктаж проводит преподаватель, ведущий занятия. После проведения инструктажа студент расписывается в регистрационном журнале о том, что он ознакомлен с правилами безопасной работы в лаборатории и обязуется их выполнять. Студенты не прошедшие инструктаж к работе не допускаются. Студенты, замеченные в нарушении настоящих правил, отстраняются от выполнения лабораторных работ.

### **ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПЕРЕД НАЧАЛОМ И ОКОНЧАНИЕМ РАБОТЫ**

Каждый студент должен:

1. Знать расположение общих рубильников силовой сети напряжением 220 вольт, частотой 50 Гц для того, чтобы в случае необходимости быстро отключить питание от лабораторных установок;
2. Изучить описание лабораторной работы и инструкции к используемым приборам;
3. Ознакомиться с макетом установки;
4. Проверить наличие заземления на каждом приборе, подлежащем заземлению. В случае отсутствия заземления сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией;

**Запрещается:**

- Включать в сеть приборы, вращать ручки настройки без разрешения преподавателя;
- Переставлять приборы из установки;
- Разбирать схемы, вскрывать приборы и т.д.;
- Начинать проведение эксперимента без разрешения преподавателя;

- Загромождать рабочее место и установку одеждой, сумками и др. посторонними предметами.

5. Перед началом эксперимента получить допуск у преподавателя.

6. В присутствии преподавателя включить приборы, входящие в установку, в соответствии с инструкциями к приборам и описанием лабораторной работы. Если приборы не работают, сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией.

7. При нарушении нормальной работы прибора (сильное зашкаливание, характерный запах горелого и т.п.) немедленно отключить прибор и сообщить об этом преподавателю или зав. лабораторией;

**Запрещается:**

- Работать с незаземленными и неисправными приборами.

- Самим проводить устранение неисправностей.

- Оставлять без наблюдения включенные приборы.

8. Если работа выполнена полностью и правильно, то по указанию преподавателя выключить приборы в соответствии с инструкцией и привести в порядок рабочее место.

**ТРЕБОВАНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ В АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЯХ**

1. При появлении запаха гари, дыма или возгорания принять меры по обнаружению источника возгорания и его ликвидации;

2. В случае пожара обесточить помещение, вызвать по телефону 01 пожарную охрану, произвести эвакуацию людей, сообщить администрации о случившемся и приступить к тушению пожара с помощью имеющихся средств пожаротушения;

3. В случае поражения человека электрическим током, необходимо быстро освободить пострадавшего от действия тока. Вызвать врача. Если пострадавший находится без сознания, то нужно привести его в сознание, давая нюхать нашатырный спирт, если пострадавший плохо дышит, начать

делать искусственное дыхание и массаж сердца и продолжать их делать до прибытия врача;

4. В случае затопления помещения водой необходимо обесточить помещение, вызвать сантехника, вынести ценное оборудование и при необходимости сообщить администрации о случившемся.

### **ПОРЯДОК ОФОРМЛЕНИЯ РАБОТ**

В процессе выполнения лабораторной работы студент должен наблюдать за ходом эксперимента, отмечая все его особенности: изменение цвета, тепловые эффекты, выделение газа и т.д. Результаты наблюдений записывают в лабораторный журнал, придерживаясь определенной последовательности:

- название лабораторной работы, дата выполнения;
- цель работы;
- краткая теория вопроса;
- результаты эксперимента;
- выводы по результатам работы.

Записи в лабораторном журнале производят чернилами.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 01 – 2013.

# Лабораторная работа № 1

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ

**Цель работы:** знакомство с наиболее распространенными методами измерений температуры и оценка их возможностей и погрешности измерений:

1. жидкостный ртутный контактный термометр;
2. термопара хромель-алюмель;
3. полупроводниковый термометр сопротивления;
4. электронный цифровой измеритель температуры;
5. термометр сопротивления.

### Введение

Температура является важнейшим параметром, характеризующим внутреннюю энергию любого объекта. Точное измерение температуры положено в основу всех методов термического анализа, которые, в свою очередь, являются важнейшими среди всех физических методов исследований. Все методы измерения температуры делятся на контактные и бесконтактные. Контактные методы и средства измерений применяются для измерения температур в диапазоне от значений, близких к абсолютному нулю, до  $1500^{\circ}\text{C}$ . В отдельных случаях, контактные измерения могут применяться до предела в  $2500\text{--}3000^{\circ}\text{C}$ . Из контактных методов наиболее широкое применение получили: жидкостные термометры, термоэлектрические и терморезистивные преобразователи. Действие жидкостных термометров основано на термическом расширении жидкости, заключенной в капилляре термометра.

Наиболее точными являются лабораторные ртутные термометры, диапазон измеряемых температур которых от  $0$  до  $500^{\circ}\text{C}$ , а минимально достигнутая погрешность измерений составляет  $0,05^{\circ}\text{C}$ .

Работа термоэлектрических термометров основана на термоэлектрическом эффекте, возникающем на контакте двух различных металлических проводников соединенных между собой сваркой. Наиболее распространенные материалы термоэлектродов: платина, вольфрам, медь, хромель, копель, алюмель, константан и др. Стандартными (проградуированными) являются термопары: платина - платинородий (предельная температура  $-1600^{\circ}\text{C}$ ), вольфрам - рениевая ( $2200^{\circ}\text{C}$ ), хромель-алюмель ( $1000^{\circ}\text{C}$ ), медь - константан ( $400^{\circ}\text{C}$ ). Термометры сопротивления выпускают из платины, меди или полупроводников. Рабочий интервал температур от  $-200$  до  $650^{\circ}\text{C}$ . Погрешность измерений платиновым термометром сопротивления достигает  $0,0001^{\circ}\text{C}$ . Наиболее чувствительными являются полупроводниковые терморезисторы.

### **Задание на лабораторную работу**

1. Дать представление студентам об основных датчиках и методах измерения температуры;
2. Ознакомить с оборудованием и методами измерения температуры;
3. Экспериментально определить температуру различными датчиками и определить их точность;
4. По результатам измерений определить температуру;
5. Провести обработку результатов измерений.

### **Теоретические сведения**

*Жидкостные термометры.* Принцип действия таких термометров основан на расширении термометрической жидкости, заключённой в термометре, в зависимости от температуры. По конструктивному исполнению, делятся на палочные и с вложенной шкалой. Палочные стеклянные термометры изготавливаются из толстостенных капилляров к которым припаивается резервуар. Температура измеряемой среды, в которую помещён резервуар и часть капилляра, определяется по изменению объёма

термометрической жидкости, отсчитываемому по положению уровня жидкости в капилляре, который отградуирован в градусах Цельсия. Среди жидкостных термометров наибольшее распространение получили ртутные стеклянные термометры. Химически чистая ртуть как термометрическое вещество имеет ряд достоинств: она остаётся жидкостью в широком интервале температур, не смачивает стекло, легко может быть получена в чистом виде. Однако ртуть имеет относительно малый температурный коэффициент расширения, что требует изготовления термометров с тонкими капиллярами.

Таблица 1.1. Термические параметры ртути

Средняя температура, °С		Пределы применения, °С		Средний температурный коэффициент объёмного расширения, °С	
затвердевание	кипение	нижний	верхний	действительный	видимый
-38.9	356.6	-35	600	18	16

В зависимости от области применения по методики градуировки термометры делятся на две группы: термометры, градуируемые при полном погружении (как правило применяются в лабораторных целях и позволяют обеспечить более высокую точность), и термометры градуируемые при неполном погружении (как правило при определённой длине погружения нижней части), (технические).

Измерение температуры термопарой. Термопара образована двумя проводниками А и В, два спая которых находятся при температурах  $T_1$  и  $T_2$ , создаёт ЭДС, зависящую, с одной стороны от материала проводников А и В, с другой стороны, от температур  $T_1$  и  $T_2$ . Если составить термоэлемент из двух металлов, входящих в термоэлектрический ряд, то предшествующий металл данного ряда окажется электроотрицательным, а последующий – электроположительным. Термопара хромель—алюмель (ТХА) обладает наиболее близкой характеристикой к прямой термоэлектрической характеристики. Термоэлектроды изготовлены из сплавов на никелевой



основе. Хромель (НХ9,5) содержит 9...10 %Сг; 0,6...1,2 % Со; алюмель (НМцАК) — 1,6...2,4 % Al, 0,85...1,5 Si, 1,8...2,7 % Mn. 0,6...1,2 % Со. Алюмель светлее и слабо притягивается магнитом; этим он отличается от более темного в отожженном состоянии совершенно немагнитного хромеля.

Благодаря высокому содержанию никеля хромель и алюмель лучше других неблагородных металлов по стойкости к окислению. Учитывая почти линейную зависимость термоЭДС термопары хромель — алюмель от температуры в диапазоне 0...1000°С, ее наиболее часто применяют в терморегуляторах.

Полупроводниковые термометры сопротивления. Принцип действия основан на свойствах материалов с изменением температуры, изменять своё электрическое сопротивление. Параметр, характеризующий изменение электрического сопротивления с температурой, называют температурным коэффициентом электрического сопротивления. Термотранзисторными называют транзисторы, применяемые как первичные преобразователи температуры. В качестве термометрических характеристик термотранзистора выбирают напряжение эмиттер – база  $U_{эб}$ . Термотранзисторы применяются при измерении температуры в пределах от -70 до +150°С. Термотранзисторы обладают следующими положительными качествами: высокая стабильность и чувствительность, линейность характеристик, идентичность образцов, малые габариты, небольшая стоимость. Температурная зависимость определяется выражением:

$$U_{эб} = U_{эб}^0 - A \times t,$$

где  $U_{эб}^0$  – напряжение эмиттер – база при 0°С;

A – постоянная величина;

t – температура.

*Пирометр сопротивления.* Оптическая пирометрия – это метод измерения температуры основанный на соотношении, существующем между температурой тела и оптическим излучением, которое это тело испускает.

Преимуществом оптической пирометрии является то, что она позволяет определить температуру объекта без контакта с ним и эти методы являются особенно подходящими, когда условия измерений не позволяют использовать классические термометры. К таким условиям относятся:

- очень высокая температура ( $>2000^{\circ}\text{C}$ );
- измерения на большом расстоянии;
- очень агрессивная среда;
- материалы, плохо проводящие тепло (пластмасс, стекло, дерево);
- движущие тела (например, листовой материал на прокатном стане).

Оптическая пирометрия позволяет получить карту распределения температур, когда температура исследуемого объекта неравномерна.

Физический принцип оптической пирометрии основан на том, что все тела спонтанно и непрерывно испускают электромагнитное излучение, распределение энергии, в непрерывном спектре которого есть функция температуры – это тепловое излучение.

### **Принадлежности к лабораторной работе**

1. Термостат;
2. Ртутный термометр;
3. Термопара спай ХА;
4. Терморезистор КМТ – 10;
5. Вольтметр, амперметр;
6. Источник питания;
7. Измеритель сопротивления;
8. Соединительные провода.

## Порядок выполнения работы

### Подготовка оборудования к работе:

Открыть термостат (рис 10.1) и разместить в нём: сверху в специальном гнезде ртутный термометр (рис 10.1), а внутри, вблизи ртутного термометра спай ХА термопары, терморезистор КМТ – 10 и термометр сопротивления.

Проверить правильность подключения термопары, термометра сопротивления и терморезистора к измерительным приборам (рис 10.1), проверить установку пределов их измерения. ЭДС термопары изменяется в пределах от 0.1 мВ до 1.5 мВ.

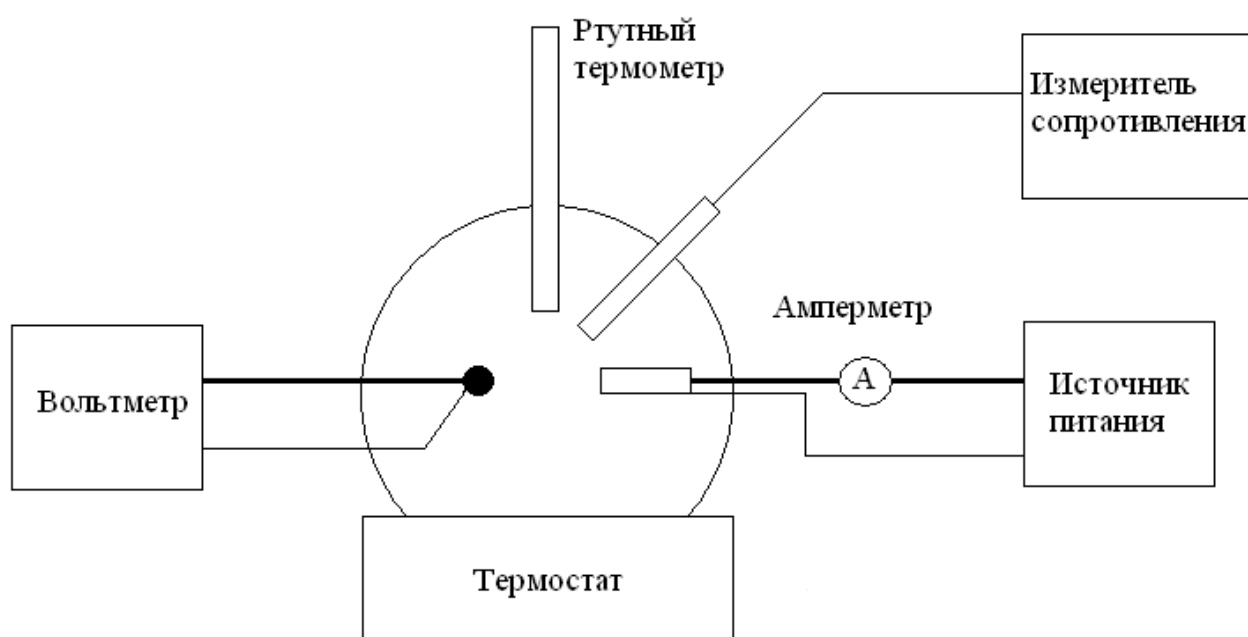


Рисунок 1. Схема включения термодатчиков

### Порядок выполнения работы

Работу необходимо выполнять как минимум тремя исполнителями, от этого зависит корректность получения результатов;

Каждый исполнитель, в один и тот же момент времени должен зарегистрировать показания своего прибора;

При выполнении работы необходимо вести протокол измерений, в котором отражаются все условия проведения опытов и получения результатов, используемых в последующих расчётах и обработке результатов измерений;

Ознакомиться с инструкцией по эксплуатации измерительных приборов;

Градусником измерить температуру окружающей среды  $T_K$ ;

Включить термостат, и регистрировать температуру  $T$  и показания приборов через каждые  $10^{\circ}C$ . Нагрев производить до  $120^{\circ}C$ ;

С помощью стандартной таблицы 1.2 для термопары хромель – алюмель перевести показания вольтметра из мВ в градусы Цельсия. К полученным показаниям необходимо добавить значение комнатной температуры.

Таблица 1.2. Таблица для перевода напряжения термопары хромель – алюмель в температуру

$T, ^{\circ}C$	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
$0^{\circ}C$	0.00	0.4мВ	0.8	1.2	1.61	2.02	2.43	2.85	3.26	3.68
$100^{\circ}C$	4.1мВ	4.51	4.92	5.33	5.73	6.13	6.53	6.93	7.33	7.77

На графике построить зависимость значений температуры зарегистрированными термопарой от значений ртутного термометра

Одновременно с вышеуказанными измерениями проводится измерения зависимости величины электрического сопротивления терморезистора КМТ – 10 от температуры, как:

$$R_t = U_{пит} / I,$$

где  $U_{пит}$  – напряжение источника питания;

$I$  – измеряемый ток, а также регистрируется изменение электрического сопротивления термометра сопротивления.

После достижения предельной температуры в  $120^{\circ}C$  выключите все приборы

Постройте график зависимости  $R$  (термометра сопротивления) =  $f(T)$  и из него определите его постоянную  $N$  (Ом / град) для расчёта температуры по формуле  $T=N[R(t) - R_{комнат}]$ ;

На графике постройте зависимость  $R_T = f(T)$ ;

Сопротивление терморезистора при любой температуре

$$R_T = R_{T_0} \times \exp [B(T_0 - T) / TT_0],$$

где  $R_{T_0}$  – сопротивление при комнатной температуре;  
 $T_0 = 293\text{K}$ ;  $T$  – текущая температура в К.

$$B = 2.303(\lg R_{T_0} - \lg R_T) / (1/T_0 - 1/T);$$

Из построенных графиков найти постоянную  $B$  терморезистора, а затем и температурный коэффициент сопротивления как:

$$\text{ТКС} = (1/R) \times (dR/dT) = - B / T^2$$

После окончания работы ознакомится с устройствами электрических измерителей температуры и порядком измерений.

Составить отчёт о проделанной работе

### **Контрольные вопросы**

1. Какие шкалы температур используются в исследованиях;
2. Какой принцип работы основных датчиков температуры;
3. Каковы особенности применения того или иного датчика;
4. Какова погрешность измерений температуры данными датчиками;
5. Какая погрешность Ваших измерений и почему.

## **Лабораторная работа № 2**

### **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ ВЛАЖНОСТИ ВОЗДУХА В ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Цель работы:** Ознакомится с методами измерения и датчиками влажности, закрепить знания на практике.

#### **Введение**

Под влажностью воздуха подразумевают содержание водяного пара в воздухе. Влажность бывает абсолютной и относительной. Вопрос измерения влажности волновал физиков и метеорологов уже давно. Влажность воздуха влияет на организм человека, а значит, её просто необходимо контролировать и измерять. На всех изделиях электронной техники проводят климатические испытания на воздействие повышенной влажности. Например полупроводниковые приборы, согласно ГОСТ 11639 – 84, должны быть устойчивы к воздействию повышенной влажности, относительная влажность при температуре + 25<sup>0</sup>С без конденсации влаги в течении 12 месяцев 98%.

#### **Задание на лабораторную работу**

Дать представление студентам об основных датчиках и методах измерения влажности;

Ознакомить с оборудованием и методами измерения влажности;

Экспериментально определить влажность;

Провести обработку результатов измерений.

#### **Теоретические сведения**

Под влажностью воздуха подразумевается содержание водяных паров в воздухе. Абсолютная влажность  $a$  - количество водяного пара в граммах содержащихся в одном кубическом метре воздуха (г/м<sup>3</sup>).

Упругость водяного пара  $e$  находящегося в воздухе или парциальное давление, выражается в миллибарах или мм. рт. ст. Абсолютная влажность и упругость водяного пара воздуха связаны выражением

$$a=217e/T \quad \text{или} \quad a=0,8e/1 +T,$$

где  $T$  — температура водяного пара (воздуха) в К и С соответственно – температурный коэффициент объёмного расширения пара.

Относительная влажность воздуха  $f$  – отношение упругости водяного пара, содержащегося в воздухе, к упругости водяного пара насыщающего пространство при температуре  $t$  – выраженное в процентах:

$$f=e \times 100\% / E$$

где  $E$  - максимально возможная упругость пара при данной температуре.

Точка росы, при которой водяной пар, находящийся в воздухе достигает насыщения при неизменном давлении, т.е.  $e = E$ .

Наиболее распространенными датчиками измерения влажности воздуха являются психрометры и волосные гигрометры.

Работа психрометрических датчиков основана на зависимости интенсивности испарения с водной поверхности от дефицита влажности соприкасающегося с ней воздуха. Для измерения влажности этот метод практически реализует косвенным определением интенсивности испарения путем измерения понижения температуры тела, с поверхности которого происходит испарение, за счёт затраты тепла тела на испарение воды.

Масса воды  $M$ , испаряющаяся с поверхности площадью  $S$  за отрезок времени  $t$ , определяется формулой Дальтона:

$$M = \frac{CS(E-e)}{p} \times t,$$

Расход тепла  $Q$  на испарение массы воды  $M$  будет равен:

$$Q = ML = \frac{CS(E - e)}{p} \times t_{\text{вп}} \times L,$$

где  $L$  - теплота парообразования воды.

Как только температура поверхности тела (воды) понизится относительно окружающего воздуха, благодаря теплообмену из воздуха к телу через охлаждённую поверхность начнёт поступать тепло  $Q$ , которое определяется формулой

$$Q = BS(t_B - t_m) \times t_{вр},$$

где  $B$ - коэффициент внешнего теплообмена;

$t_B$  и  $t_m$  – соответственно температура воздуха и охлажденного тела;

$S$  – площадь поверхности, через которую осуществляется теплообмен;

$t_{вр}$  – отрезок времени.

При установившемся процессе расход тепла на испарение будет равен притоку тепла из воздуха  $Q = Q$  следовательно, будем иметь:

$$\frac{CS(E-e)}{p} = BS(t-t)t$$

Решая это уравнение относительно  $e$  и полагая, что  $S=S$ , получаем

$$e = E - A(t_B - t_m)p$$

Данное выражение называют психрометрической формулой, а коэффициент  $A=B/cL$  – психрометрическим. Психрометрический коэффициент зависит от скорости движения воздуха испаряющегося с поверхности, однако при скорости более 2 м/с эта зависимость становится слабой.

Приборы, принцип работы которых основан на указанном методе называют психрометрами и содержат два термометра. Одним измеряют температуру тела  $t$ , с поверхности которого происходит испарение, а другим температуру окружающего воздуха  $t$ .

Психрометры, содержащие аспирационное устройство, обеспечивающее протяжку воздуха с постоянной скоростью 2 м/с называются аспирационными.



Психрометрический коэффициент для этого вида психрометров  $A = 0.00662$ , а формула для вычисления влажности по аспирационному психрометру имеет вид:

$$e = E - 0.00662p(t-t).$$

На практике влажность вычисляют по специальным психрометрическим таблицам.

Волосные гигрометры широко используются для определения влажности в помещениях. Принцип его работы основан на способности человеческого волоса изменять свою длину при изменении влажности окружающей среды. Удлинение волоса при изменении относительной влажности от 0 до 100% составляет 2.5%. Волосы для гигрометра подвергают специальной химической и механической обработке. Широкое применение нашли волосные гигрометры барабанного типа с фиксацией на ленте.

### **Принадлежности к лабораторной работе**

Термометр;

Волосного гигрографа;

Генератор водяного пара.

### **Порядок выполнения работы**

Познакомится с описанием конструкции и принципом работы психометрического гигрометра согласно инструкции;

Согласно инструкции произвести измерение температуры в помещении  $t$  и температуры влажного термометра –  $t$ ;

Произвести вычисление относительной влажности по психрометрической формуле;

Сравнить полученные значения с данными из психрометрических таблиц;

Изучить описание волосного гигрографа;

Снять показания с барабана волосного гигрографа;

Сравнить полученные результаты, занеся их в таблицу;  
Включить генератор водяного пара;  
Снять зависимость изменения влажности в помещении от времени работы генератора двумя способами в течении 15 минут;  
Обработать полученные результаты;  
Оформить отчёт по данной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. В чем состоит содержание лабораторной работы;
2. Какие виды датчиков влажности бывают по принципу действия, и их особенности;
3. Как связаны между собой: температура, абсолютная влажность, относительная влажность и упругость водяного пара.

### **Лабораторная работа № 3**

## **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА**

**Цель работы:** Ознакомится с методами и оборудованием измерения скорости движения воздушного потока, закрепить знания на практике.

### **Введение**

Большое значение при оценке помещения имеет анализ движения воздушного потока, качество вентиляции, притока и вытяжки воздуха. Для этого необходимо ознакомиться с методами анализа данного явления. В данной работе Вы научитесь правильно эксплуатировать приборы МС – 13, это чашечный анемометр и крыльчатый анемометр АСО-3, который позволяет измерить движения воздушного потока.

### **Теоретическая часть**

Приборы, служащие для измерения скорости движения воздушных потоков, называются анемометрами. Их работа основана на принципе преобразования скорости воздушного потока в механическое перемещение чувствительного элемента. Распространены два вида этих элементов: чашечные вертушки и воздушный винт.

Анемометр ручной чашечный со счетным механизмом применяется для измерения средней скорости движения от 1 до 2 м/с. Порядок работы с ним изложен в инструкции. При строгом соблюдении методики измерений погрешность измерения анемометра зависит от средней скорости движения воздуха и определяется по формуле

$$F = (0,06v + 0,3) \text{ м/с}$$

Перед измерением скорости воздушного потока выключают с помощью арретира счетное устройство и записывают начальное показание счетчика. После этого анемометр вносят в воздушный поток так, чтобы ось чашечного

анемометра располагалась перпендикулярно потоку. Отклонение от указанного положения не должно превышать 12-15 градусов. Через 5-10 с после внесения анемометра в поток одновременно включают секундомер, выключают и записывают показания счетчика и секундомера.

Делением разности конечного  $N_{\text{кон}}$  и начального  $N_{\text{нач}}$  показаний счетного механизма на время измерения  $t$  определяют число делений  $n$  приходящихся на 1с.

$$n = (N_{\text{кон}} - N_{\text{нач}}) / t$$

Скорость движения воздушного потока определяется по прилагаемому к прибору графику.

Крыльчатый анемометр предназначен для измерения скорости движения воздуха (0,2 – 5) м/с. Погрешность измерения определяется:

$$F = (0,06v + 0,1),$$

где  $v$  – средняя скорость движения измеряемого потока.

При проведении измерений ось чашечного анемометра располагают параллельно движущемуся потоку.

Процедура измерения аналогична указанной выше.

### **Принадлежности к лабораторной работе**

Чашечный анемометр МС-13;

Крыльчатый анемометр АСО-3.

### **Порядок выполнения работы**

Ознакомится с инструкцией по работе с чашечным анемометром МС-13;

Включить вентилятор;

Произвести измерение скорости движения воздуха на расстоянии 1 метр от вентилятора согласно методике измерения;

Ознакомиться с инструкцией по работе с крыльчатым анемометром АСО-3;

Произвести измерения скорости движения воздуха аналогично п.3;  
С помощью крыльчатого анемометра произвести измерения в различных точках помещения и определить застойные зоны;  
Оформить отчет проделанной работе.

### **Контрольные вопросы**

1. В чём принципиальные отличия крыльчатого анемометра от чашечного;
2. Принцип работы чашечным анемометром МС-13;
3. Принцип работы крыльчатым анемометром АСО-3.

## Лабораторная работа № 4

### МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЯ СВЕТОТЕХНИЧЕСКИХ И КОЛОРИМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК В ПРОИЗВОДСТВЕ

**Цель работы:** Ознакомится с конструкцией и принципом работы полупроводниковых фотосопротивлений и фотодиодов.

#### Введение

Полупроводниковые фотоэлектрические датчики находят широкое применение при исследовании объектов окружающей среды. На их основе сконструированы разнообразные фото – и спектрографические приборы и устройства. Это приборы контроля продолжительности солнечного дня, приборы контроля запыленности и прозрачности атмосферного воздуха, приборы чистоты воды, приборы контроля дымовых и газовых выбросов и др.

#### Теоретическая часть

Выходной характеристикой оптических датчиков обычно является электрический ток, поэтому ток и его вариации в функции различных параметров служит для характеристики свойств датчиков.

В качестве метрологических характеристик выступают:

*Темновой ток;*

*Чувствительность;*

*Спектральная чувствительность;*

*Интегральная чувствительность;*

*Обнаружительная способность (соотношение между собственным шумом и сигналом).*

*Темновой ток* – это ток, постоянно имеющийся на выходе фоточувствительного устройства, помещенного в темноту и находящегося при определенных условиях питания.

Он возникает по двум причинам: во-первых внутренняя причина за счет наличия теплового возбуждения носителей, и его величина определяется свойствами материала, и, во-вторых, внешняя причина, поскольку внешняя среда является источником теплового излучения и датчик его воспринимает. В общем случае выгодно выбрать и использовать такой датчик, у которого темновой ток существенно меньше минимального фототока, обусловленного сигналом. Для датчиков ИК - излучения это приводит к необходимости помещать датчик в охлажденный корпус, чтобы уменьшить тепловое возбуждение датчика и ограничить поток излучения из окружающей среды.

*Чувствительность.* Поток излучения оптического сигнала, воспринимаемого датчиком, приводит к возникновению фототока  $I_p$  который вместе с темновым током  $I_0$  составляет общий ток на выходе датчика:

$$I = I_0 + I_p$$

Реакцию датчика на принимаемое излучение обычно характеризуют, исходя из фототока  $I_p$ . Эта реакция зависит с одной стороны от устройства датчика, а с другой – от природы излучения, его спектрального состава и величины потока.

Если датчик подвергается воздействию потока  $\Phi$  и выдает ток  $I_p$  при постоянном темновом токе, то чувствительность датчика выражается как:

$$S = dI_p / D\phi$$

В зависимости от единиц, в которых измеряется поток чувствительность выражается в А/Вт, А/лм или А/лк, если поток оценивается по создаваемой им визуальной освещенности.

*Спектральная чувствительность* - это чувствительность датчика, когда воспринимаемый им поток монохроматичен, и записывается для определенной длины волны  $\lambda$

$$S(\lambda) = dI_p / d\Phi(\lambda)$$

Кривая спектральной чувствительности показывает изменение относительной чувствительности в функции длины волны:

$$S(\lambda)/S(\lambda_p),$$

где  $(\lambda_p)$  – длина волны соответствующая максимуму спектральной чувствительности.

*Интегральная чувствительность  $S_t$*  - это чувствительность датчика, принимающего некогерентный оптический сигнал. Она зависит, с одной стороны, от спектральной чувствительности датчика к различным составляющим воздействующего излучения, и, с другой стороны, от спектрального распределения самого излучения.

*Обнаружительная способность.* Она связана в соотношении определения характеристик датчика, в отношении его собственных шумов и способности датчика обнаруживать слабые сигналы.

### Принадлежности к лабораторной работе

Фотосопротивление на основе сульфида кадмия типа ФСК – 1;

Кремниевый фотодиод ФД-24К;

Вольтметр В7-26;

Блок питания;

Электролампа;

Монохроматор.

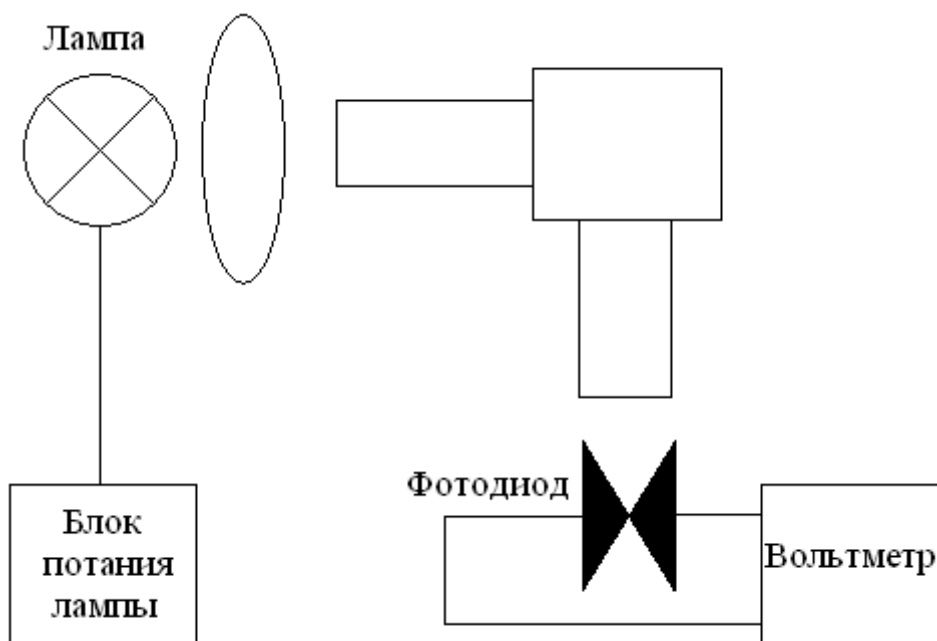


Рисунок 4.1. Схема включения оборудования.



## **Порядок выполнения работы**

Изучите устройство и принцип работы фотосопротивления на основе сульфида кадмия типа ФСК - 1 и кремниевого фотодиода ФД-24К;

Изучите устройство монохроматора УМ-2 и со схемой электрических соединений;

Включите вольтметр В7-26 и дайте ему прогреться 10 минут;

Включите блок питания электролампы и получите равномерную засветку входной щели монохроматора;

Установите фотодиод ФД-24 точно против выходной щели монохроматора;

Установите переключатель вольтметра  $V_1$  в положение  $0,3U$ , а переключатель  $V_2$  в положение  $-U$ ;

Установите винтом ширину выходной щели 2 мм;

Вращая барабан монохроматора и пользуясь графиком 1 снять зависимость  $U$  фотодиода от  $\lambda(U = f(\lambda))$ ;

Изменяя ширину щели  $s$  снять зависимость  $U=f(s)$ ;

Снять фотодиод и установить фотосопротивление ФСК-1;

Установить ширину щели 2 мм, а переключатель  $V_2$  поставить в положение;

Повторив п.п. 7 и 8 снять зависимости  $R_{\text{фс}} = f(\lambda)$  и  $R_{\text{фс}} = f(s)$ ;

Представьте полученные результаты в виде графиков.

## **Контрольные вопросы**

1. Объясните принцип работы фотосопротивления и фотодиода.
2. Какие электрические схемы используются для включения датчиков.
3. Каковы физические возможности полупроводниковых фотоэлектрических датчиков.

## **Лабораторная работа № 5**

### **МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ВИБРАЦИИ И МИКРОПЕРЕМЕЩЕНИЙ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Цель работы:** Изучить устройство и работу датчиков вибрации.

#### **Введение**

Механические вибрации, создаваемые движущимся транспортом и работающими механизмами, оказывают весьма неблагоприятное влияние на организм человека и окружающую его среду. Особо опасное воздействие оказывают механические вибрации инфра - низкого и низкочастотного диапазона.

#### **Теоретическая часть**

Для контроля величины и частотного спектра механических колебаний используются магнитодинамические и пьезоэлектрические датчики.

Перемещение мембраны преобразуется в электрические колебания, причем частота электрических колебаний соответствует частоте механических колебаний, а величина сигнала пропорциональна амплитуде механических колебаний. Диапазон частот регистрируемых колебаний подобным датчиком от единиц герц до десятков килогерц. Более широкий диапазон частот имеет пьезоэлектрический датчик вибраций от единиц герц до мегагерц. Пьезоэлектрический датчик представляет собой кварцевую или керамическую пластину с напыленными на поверхности металлическими электродами.

Устройство магнитодинамического датчика показано на рисунке 5.1.

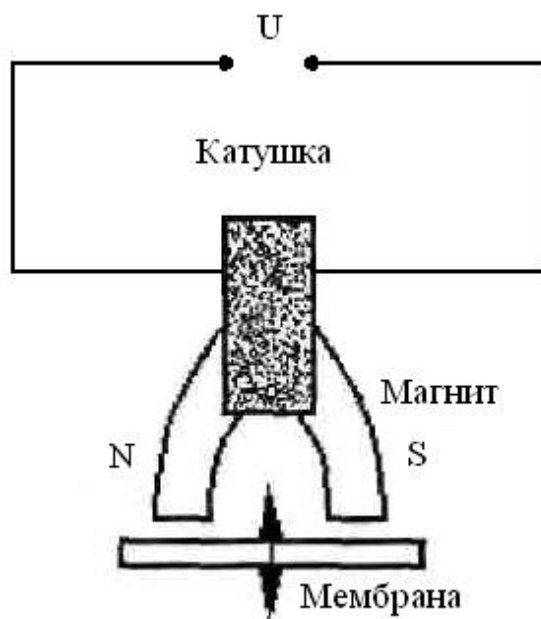


Рисунок 5.1. Устройство магнитодинамического датчика.

### **Принадлежности к лабораторной работе**

Магнитодинамический датчик;

Пьезоэлектрический датчик;

Селективный вольтметр У2-6;

Образец исследуемого материала;

Источник механических колебаний (вентилятор).

### **Порядок выполнения работы**

Магнитодинамический датчик подключить к выходу селективного вольтметра У2-6;

Включить тумблер сеть, прогреть прибор 20 минут;

Предел измерений поставить в положение 10 мВ;

Режим работы в положение 2, узкая полоса;

На образец исследуемого материала поставить источник механических колебаний (вентилятор);

На удалении порядка 20 см. от источника установить датчик и манипулируя переключениями «Частота измеряемого сигнала» и «Пределы измерения» снять зависимость сигнала датчика от частоты;

Выбрать частоты соответствующую максимальному сигналу и снять зависимость величины сигнала датчика от расстояния до источника вибрации;

Найти коэффициент поглощения механических колебаний исследуемым материалом по формуле:

$$U_1 = U_2 \exp(-2\alpha X_{12}),$$

где  $U_{12}$  - напряжение на датчике в точке 1 и 2 в вольтах;

$X$  - расстояние между точками 1 и 2 в см.

Повторить опыт для 2-3 подручных материалов.

### **Контрольные вопросы**

1. Объясните принцип работы магнитодинамического и пьезоэлектрического датчиков;
2. Какие электрические схемы используются для включения датчиков;
3. Каковы физические возможности магнитодинамического и пьезоэлектрического датчиков.

**Лабораторная работа № 6**  
**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА КОНТРОЛЯ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ И**  
**ДЕФОРМАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ**

**Цель работы:** Исследование основных характеристик наклеиваемых тензометрических датчиков и измерительной установки на их основе для измерения механических усилий и деформаций.

**Введение**

Для измерения малых деформаций и перемещений используются фольговые и пленочные тензорезисторы, наклеиваемые на испытуемый объект. В качестве объекта могут выступать как несущие элементы различных конструкций: опор линий электропередач, мостов, плотин, зданий, так и непосредственно скальные грунты, ледники, речной лед и др. Кроме того тензорезисторы могут быть использованы в качестве чувствительных элементов в датчиках давления, ветрового напора и температуры.

**Теоретическая часть**

Фольговые тензорезисторы изготавливаются из ленты толщиной 4-12 мкм в виде конфигурации с выводами. Данная конфигурация наиболее удобна для измерения линейной деформации. При этом датчик наклеивается на объект так, чтобы измерительная база преобразователя (длина) совпадала с направлением интересующих нас деформаций. Наиболее часто используются преобразователи длиной 5-20 мм, обладающие номинальным электрическим сопротивлением 100-500 Ом.

Тензометрические датчики относятся к группе параметрических преобразователей неэлектрических величин в электрические. Их входной величиной является деформация, а выходной величиной - изменение электрического сопротивления, пропорциональное этой деформации. Наклеиваемые тензорезисторы использованы в данной работе для измерения

упругих деформаций стальной балки, возникающих под действием сосредоточенной силы  $P$ , приложенной к свободному концу балки. При этом тензорезистор, наклеенный на верхнюю поверхность балки, испытывает деформацию растяжения, а нижний тензорезистор - деформацию сжатия.

Таким образом деформация балки  $\Delta l$  определится как

$$\Delta l = 6 \times L^2 \times P / (E \times b \times h^2),$$

где  $L$  – длина участка балки между точкой приложения силы и точкой измерения;

$h$  – толщина балки (0,25 см);

$b$  – ширина балки (3,3 см);

$E$  – модуль упругости стали ( $2 \cdot 10^6$  кг/см<sup>2</sup>).

Относительная линейная деформация тензорезистора  $\gamma$  равна относительной линейной деформации балки  $\gamma_1 = \Delta l / L$ .

При деформации изменяется относительное электрическое сопротивление тензорезистора как

$$\gamma_R = (\Delta R / R_0) = K \times [6 \times L^2 \times P / (E \times b \times h^2)],$$

где  $K$  - коэффициент относительной тензочувствительности, определяемой как  $K = \gamma_R / \gamma_1$ .

### **Описание лабораторного макета.**

Структурная схема представлена на рисунке 6.1. Основным элементом макета является измерительный неравновесный мост. Тензорезисторы включены в смежные плечи моста. Баланс моста осуществляется переменным резистором  $R_{\text{перем}}$  находящимся на макете сверху. Питание моста осуществляется с источника напряжением 20 В.

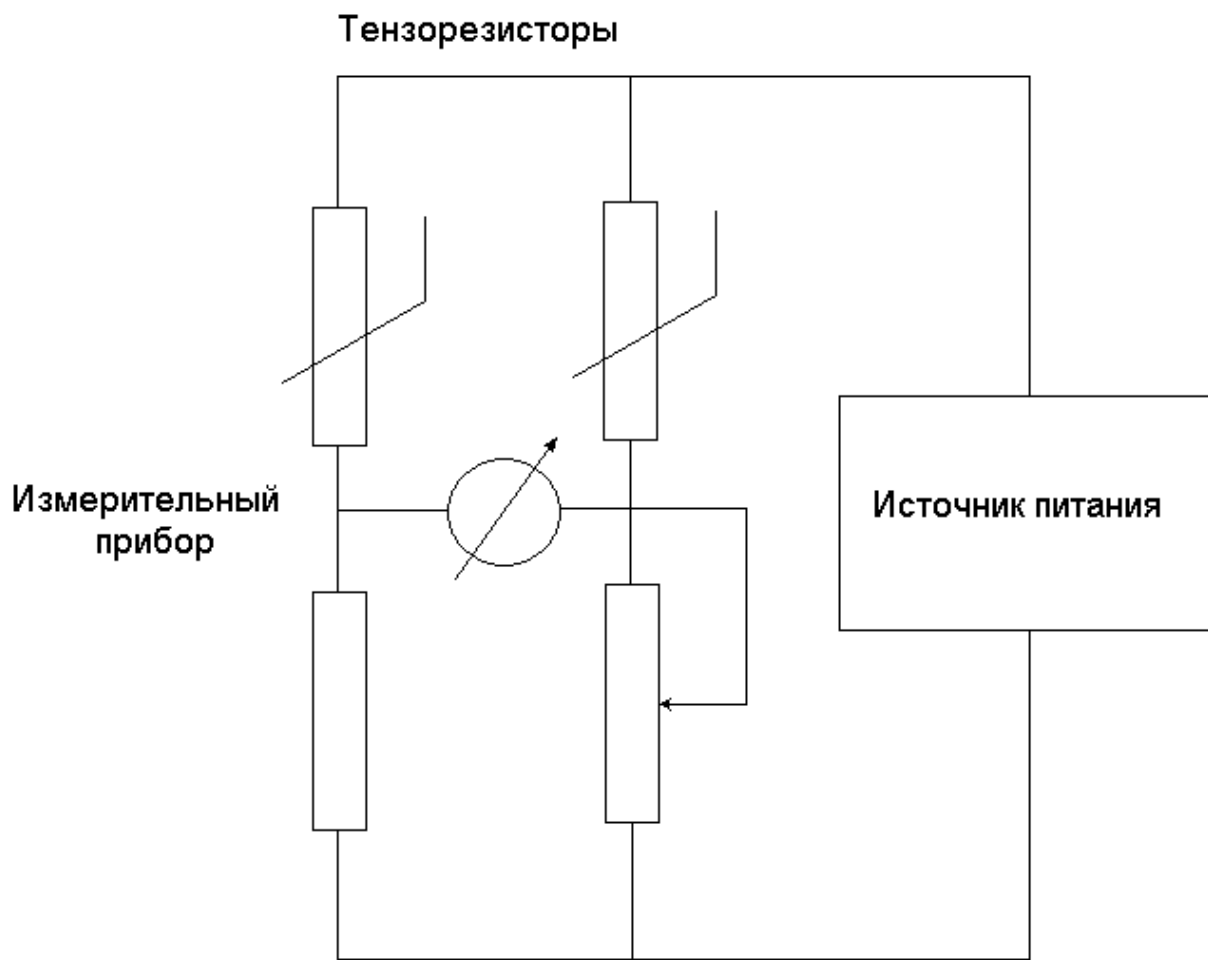


Рисунок 6.1. Схема включения установки.

### **Порядок выполнения работы**

Ознакомьтесь с макетом установки и электрической схемой;

Не включая блок питания, установите на балку груз 1 кг и перемещая его по балке снять по индикатору зависимость  $\Delta l = f(PL)$  и определить  $\gamma_1 = \Delta l / L$ ;

Включите блок питания и установите  $U_{пит}=20В$ . Предел измерений прибора установить на 15 мВ и резистором R установите стрелку прибора в середину шкалы;

Перемещая груз по балке снять зависимость напряжения  $\Delta U = f(\Delta l)$  не менее 4 х измерений. По формуле  $\Delta U = (1 / 2) \gamma_1 U_{пит}$  определите  $\gamma_R$ ;

По формуле  $K = \gamma_R / \gamma_1$  определите коэффициент тензочувствительности.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое тензодатчик;
2. Для измерения каких физических величин могут быть использованы тензодатчики;
3. Принцип выбора оптимального спектрального диапазона.



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Смирнов Г.В., Солдаткин В.С., Туев В.И., , Приборы и датчики экологического контроля: Учебное пособие. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. – 117с.
2. Приборы и датчики экологического контроля: Методические указания по выполнению лабораторных работ / Туев В. И., Солдаткин В. С. — 2015. 33 с.
3. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. Пособие: Для вузов. – 6-е изд., стереот. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.
4. Назаров В.Н., Карабегов М.А., Мамедов Р.К. Основы метрологии и технического регулирования. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 110 с.
5. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: учебное пособие: В 2 ч. / Ред. Ю. А. Афанасьев, Ред. С. А. Фомин. – М.: МНЭПУ. – 2001.
6. Иванова Г.М. и др. Теплотехнические измерения и приборы: Учебник для вузов / Г.М.Иванов, И.Д. Кузнецов,В.С. Чистяков. М.: Энергоатомиздат, 1984. – 232с.
7. Грибанов Ю.И. Измерения и приборы в радиолюбительской практике, М., «Энергия», 1999. – 192с.
8. Датчики: Справочное пособие / В.М. Шарапов, Е.С. Полищук, Н.Д. Кошевой, Г.Г. Ишанин, И.Г. Минаев, А.С. Совлуков. - Москва: Техносфера, 2012. – 624 с.
9. 13. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196с.
10. Виноградов Ю.А. Радиолюбителю конструктору: Си Би связь, дозиметрия, ИК техника, электронные приборы, средства связи / М.:«ДМК». – 2006. – 240 с.