

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Томский государственный университет  
систем управления и радиоэлектроники

В. С. Солдаткин

## **ПРИБОРЫ И ДАТЧИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов  
технических направлений подготовки и специальностей

Томск  
2022

**УДК** 681.586: 504 (075.8)

**ББК** 32.84

С 600

**Солдаткин, Василий Сергеевич**

С 60 Приборы и датчики экологического контроля: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов технических направлений подготовки и специальностей / В.С. Солдаткин. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022 – 29 с.

Настоящие методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов технических направлений подготовки и специальностей подготовки составлены с учетом требований федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО).

Методические указания предназначены для студентов, изучающих специальную дисциплину «Приборы и датчики экологического контроля» и содержат необходимую информацию, используемую для проведения лабораторных работ студентов.

Одобрено на заседании каф. РЭТЭМ протокол № 78 от 16.02.2022.

УДК 681.586: 504 (075.8)

ББК 32.84

© Солдаткин В.С., 2022

© Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Требования к технике безопасности.....	4
Порядок оформления работ.....	5
<i>Лабораторные работы для выполнения в лаборатории</i>	
Лабораторная работа № 1 «Измерение температуры» .....	6
Краткая теория.....	6
Задание на лабораторную работу .....	8
Контрольные вопросы.....	8
Лабораторная работа № 2 «Измерение светотехнических характеристик источников света» .....	9
Краткая теория.....	9
Задание на лабораторную работу .....	11
Контрольные вопросы.....	12
Лабораторная работа № 3 «Измерение колориметрических характеристик источников света» .....	13
Краткая теория.....	13
Задание на лабораторную работу .....	15
Контрольные вопросы.....	15
Лабораторная работа № 4 «Измерение влажности воздуха» .....	16
Краткая теория.....	16
Задание на лабораторную работу .....	17
Контрольные вопросы.....	17
Лабораторная работа № 5 «Измерение скорости движения воздушного потока» .....	18
Теоретическая часть .....	18
Задание на лабораторную работу .....	18
Контрольные вопросы.....	18
<i>Лабораторные работы для выполнения в дистанционном формате</i>	
Лабораторная работа № 6 «Расчёт устройства дезинфекции поверхностей» .....	20
Краткая теория.....	20
Задание на лабораторную работу .....	21
Контрольные вопросы.....	21
Лабораторная работа № 7 «Определение температуры электронного компонента».....	22
Краткая теория.....	22
Задание на лабораторную работу .....	22
Контрольные вопросы.....	23
Лабораторная работа № 8 «Сила и скорость ветра» .....	24
Краткая теория.....	24
Задание на лабораторную работу .....	27
Контрольные вопросы.....	28
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....	29

## 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:

– Знать расположение щита электропитания напряжением 220 В, частотой 50 Гц для того, чтобы в случае необходимости быстро отключить питание от лабораторных установок.

– Изучить описание лабораторной работы и инструкции к используемым приборам.

– Ознакомиться с макетом установки.

– 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.

Перед началом эксперимента получить допуск у преподавателя.

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.

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.

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

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

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;

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;

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 протокол, придерживаясь определенной последовательности:

- название лабораторной работы;
- цель работы;
- краткая теория;
- результаты эксперимента;
- оценка погрешности измерений;
- выводы по результатам работы.

Отчет оформляется в соответствии с требованиями ОС ТУСУР 01-2021.

## Лабораторная работа № 1 «Измерение температуры»

Целью работы является знакомство с наиболее распространёнными методами измерения температуры и оценка их возможностей и погрешностей.

### Краткая теория

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 °С. В отдельных случаях, контактные измерения могут применяться до предела в 2500–3000 °С. Из контактных методов наиболее широкое применение получили: жидкостные термометры, термоэлектрические (термопары) и терморезистивные преобразователи. Наиболее точными являются лабораторные ртутные термометры, диапазон измеряемых температур которых от 0 до 500 °С, а минимально достигнутая погрешность измерений составляет 0,05 °С.

Шкалами от термодинамических приборов являются шкала Цельсия и шкала Фаренгейта.

Шкала Цельсия получается из абсолютной шкалы Кельвина, если за нуль принять температуру замерзания воды и градус Цельсия (°С) равен одному Кельвина:

$$T(^{\circ}\text{C}) = T(\text{K}) - 273,16 \quad (1)$$

Шкала Фаренгейта получается смещением нуля абсолютной шкалы Рэнкина:

Единица измерения – градус Фаренгейта (°F) - равна одному градусу Рэнкина

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(\text{R}) - 459,67 \quad (2)$$

Формулы перехода из одной шкалы к другой имеют вид:

$$T(^{\circ}\text{C}) = [T(^{\circ}\text{F}) - 32] (5/9) \quad (3)$$

$$T(^{\circ}\text{F}) = T(^{\circ}\text{C}) \times (9/5) + 32 \quad (4)$$

Принцип действия стеклянных жидкостных термометров основан на расширении термометрической жидкости (термометрические жидкости приведены в табл. 1), заключенной в термометре, в зависимости от температуры. Стеклянные термометры по своей конструкции бывают: палочные и с вложенной шкалой.

Таблица 1. Термометрические жидкости

	Средняя температура, °С		Пределы применения, °С		Средний температурный коэффициент объемного расширения, 10 <sup>5</sup> К <sup>-1</sup>	
	затвердевания	кипения	нижний	верхний	действительный	видимый
Ртуть	-38,9	356,6	-35	600	18	16
Толуол	-97,2	109,8	-90	200	109	107
Этиловый спирт	-114,5	78,0	-80	70	105	103
Керосин	-	До 325	-60	200	95	93
Петролейный эфир	-	До 70	- 120	25	152	150
Пентэн	-200	36	-200	20	92	90

Принцип действия термопары основано на зависимости термоэлектродвижущей силы термопары от температуры. Термоэлектродвижущая сила (термо-ЭДС) возникает в цепи, составленной из двух разнородных проводников при неравенстве температур в местах соединения этих проводников. К материалам (стандартные термопары приведены в табл. 2), используемым для изготовления термоэлектрических термометров,

предъявляется целый ряд требований: жаростойкость, жаропрочность, химическая стойкость, воспроизводимость, стабильность, однозначность и линейность градуировочной характеристики, и ряд других. Среди них есть обязательные и желательные требования.

Таблица 2. Стандартные термопары

Тип термопары термоэлектрического термометра	Рабочий диапазон длительного режима работы, °С	Максимальная температура кратковременного режима работы, °С
Медь–копелевая	-200 ÷ 100	–
Медь–медноникелевая	-200 ÷ 400	–
Железо–медноникелевая	-200 ÷ 700	900
Хромель–копелевая	-50 ÷ 600	800
Никельхром–медноникелевая	-100 ÷ 700	900
Никельхром–никельалюминиевая (хромель–алюмелевая)	-200 ÷ 1000	1300
Платинородий (10 %) –платиновая	0 ÷ +1300	1600
Платинородий (30 %) –платинородиевая (6 %)	300 ÷ 1600	1800
Вольфрамрений (5 %) –вольфрамрениевая (20 %)	0 ÷ 2200	2500

Принцип действия термометров сопротивления основан на способности различных материалов (в первую очередь металлов) изменять свое электрическое сопротивление с изменением температуры. Параметр, характеризующий изменение электрического сопротивления с температурой, называют температурным коэффициентом электрического сопротивления. Чувствительный элемент металлического термометра сопротивления состоит, как правило, из проволоки или ленты, которая намотана на каркас из стекла, кварца, керамики, слюды или пластмассы. От чувствительного элемента идут выводы к зажимам головки термометра, к которым подсоединяются провода, идущие затем к измерительному прибору.

Термотранзисторами названы транзисторы, применяемые как первичные преобразователи температуры. В качестве термометрической характеристики термотранзистора выбирают напряжение эмиттер – база  $V_{эб}$ . Термотранзисторы применяются при измерении температуры в пределах от - 70 до + 150 °С. Термотранзисторы обладают следующими положительными качествами: высокая стабильность и чувствительность, линейность характеристики, идентичность образцов, малые габариты, небольшая стоимость.

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 °С); 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.

### **Задание на лабораторную работу**

1. Ознакомится с требованиями по охране труда и пожарной безопасности, расписаться в журнале инструктажа.
2. Ознакомится с оборудованием и методами измерения температуры.
3. Установить в электропечь термопару и жидкостный термометр.
4. Включить электропечь.
5. Установить температуру 30°C.
6. Измерить температуру и записать данные с термопары и жидкостного термометра и пирометра в протокол измерений.
7. Повторить п. 5 и п. 6 повышая температуру на 5°C.

### **Контрольные вопросы**

1. Шкалами от термодинамических приборов.
2. Принцип действия стеклянных жидкостных термометров.
3. Принцип действия термопары.
4. Принцип действия термометров сопротивления.
5. Принцип действия термотранзисторов.
6. Принцип действия пирометров.
7. Оценка погрешности измерения.

## Лабораторная работа № 2 «Измерение светотехнических характеристик источников света»

Целью работы является знакомство с методами и средствами измерения светотехнических характеристик источников света, оценка их возможностей и погрешностей.

### Краткая теория

Свет – это видимая область электромагнитного излучения в диапазоне от 380 до 750 нм. В таблице 3 приведены диапазоны спектров оптического излучения.

Таблица 3. Диапазоны спектров оптического излучения

ИК – излучен (103 – 105 ГГц) 300 мкм – 750 нм	Видимый свет (1013 – 1015 ГГц) 750 – 380 нм	УФ – излучение (7,5·1014 Гц – 3·1016 Гц) 380 нм – 10 нм
Сверхдальняя зона 34 – 15 мкм	Красный 620 – 760 нм	Ближний (длинноволновый) 400 – 300 нм
Дальняя зона 15 – 6 мкм	Оранжевый 590 – 620 нм	Средний (средневолновый) 300 – 200 нм
Средняя зона 6 – 3 мкм	Жёлтый 560 – 590 нм	Дальний (коротковолновый) 200 – 122 нм
Ближняя зона 3 – 0,76 мкм	Зелёный 500 – 560 нм	Экстремальный 121 – 10 нм
	Голубой 470 – 500 нм	
	Синий 430 – 470 нм	
	Фиолетовый 380 – 430 нм	

Человеческий глаз содержит экстерорецепторы называемые колбочками. Восприятие человеком света описывается фотопической функцией, графическая зависимость приведена на рисунке 1.

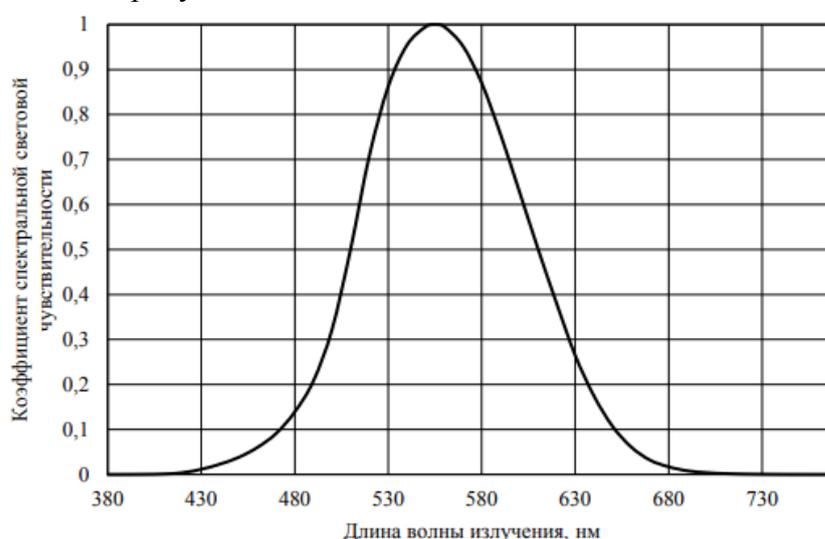


Рисунок 1 – Фотопическая функция

Основываясь на фотопической функции физические величины, описывающие излучение можно разделить на энергетические и световые. Переход от энергетических величин к световым осуществляется по формуле (5):

$$\Phi = 683(\text{лм/Вт}) \times K \times P \quad (5)$$

где,  $\Phi$  – световой поток, лм;  $K$  – уровень спектральной световой чувствительности для данной длины волны излучения;  $P$  – оптическая мощность излучения, Вт.

В таблице 2 приведены энергетические величины в таблице 3 световые.

Таблица 2. Энергетические величины

Наименование	Символ	Единица измерения		
		Россия	Система СИ	Квантовый аналог
Поток излучения	$\Phi_e$	Вт	$W$	$N_{ph}/s$ (кол-во фотонов в секунду)
Энергия излучения	$Q_e$	Дж	$J$	$N_{ph}$ (кол-во фотонов)
Энергетическая сила излучения (сила излучения)	$I_e$	Вт/ср	$W/sr$	$N_{ph}/sr \cdot s$ (кол-во фотонов в телесном угле 1ср в секунду)
Поверхностная плотность потока излучения	$M_e$	Вт/м <sup>2</sup>	$W/m^2$	$N_{ph}/m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов излучаемых с 1м <sup>2</sup> в секунду)
Энергетическая освещенность (облученность)	$E_e$	Вт/м <sup>2</sup>	$W/m^2$	$N_{ph}/m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов на 1м <sup>2</sup> в секунду)
Энергетическая яркость	$L_e$	Вт/ср*м <sup>2</sup>	$W/sr \cdot m^2$	$N_{ph}/sr \cdot m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов в телесном угле в 1ср на 1м <sup>2</sup> в секунду)

Таблица 3. Световые величины

Наименование	Символ	Единица измерения	
		Россия	Система СИ
Световой поток	$\Phi_v$	лм	$lm$
Световая энергия	$Q_v$	лм*с	$lm \cdot s$
Сила света	$I_v$	лм/ср = кд	$lm/sr = cd$
Поверхностная плотность светового потока	$M_v$	лм/м <sup>2</sup>	$lm/m^2$
Освещенность	$E_v$	лк	$lm/m^2 = lx$
Яркость	$L_v$	лм/ср*м <sup>2</sup> = кд/м <sup>2</sup> = нит	$lm/sr \cdot m^2 = cd/m^2 = nit$

Мощность излучения или поток излучения – это величина энергии, переносимой полем в единицу времени через известную площадь

$$\Phi_e (P_e) = dQ_e/dt \quad (6)$$

где  $\Phi_e$  – поток излучения (Вт),  $P_e$  – мощность излучения (Вт);

$Q_e$  – энергия излучения (Дж);

$t$  – время (с).

Сила излучения – поток излучения, приходящийся на единицу телесного угла в котором он распространяется.

$$I_e = \Phi_e/\Omega \quad (7)$$

где  $I_e$  – сила излучения (Вт/ср);

$\Phi_e$  – поток излучения (Вт);

$\Omega$  - телесный угол (ср).

Телесный угол расположен в конусе с вершиной в центре сферы (место расположения источника излучения) и равен отношению площади, вырезанной в сфере этим конусом к квадрату радиуса сферы, измеряется в стерadians.

$$\Omega = S/r^2 \quad (8)$$

где  $\Omega$  – телесный угол (ср),

$S$  – площадь основания конуса ограниченного сферой в которой распространяется излучение,

$r$  – радиус сферы в которой распространяется излучение.

Поверхностная плотность потока излучения – поток излучения, проходящий через единицу поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферического телесного угла.

Если площадка освещается потоком, то поверхностная плотность потока энергии будет иметь смысл энергетической освещенности или облученности:

$$E_e = d\Phi_e/dS \quad (9)$$

где  $E_e$  – энергетической освещенности или облученности (Вт/м<sup>2</sup>);  
 $\Phi_e$  – поток излучения (Вт);  
 $S$  – единица площади (м<sup>2</sup>).

Если поток излучается площадкой, то поверхностная плотность потока энергии будет иметь смысл энергетической светимости:

$$E_e = d\Phi_e/dS \quad (10)$$

где  $M_e$  – энергетической освещенности или облученности (Вт/м<sup>2</sup>);  
 $\Phi_e$  – поток излучения (Вт);  
 $S$  – площадь поверхности источника (м<sup>2</sup>).

*Энергетическая яркость* – величина потока, излучаемого единицей площади в единицу телесного угла в данном направлении:

$$L_e = d^2\Phi_e/d\Omega dS \cos\theta \quad (11)$$

где  $L_e$  – энергетическая яркость (Вт/ср·м<sup>2</sup>);  
 $\Phi_e$  – поток излучения (Вт);  
 $S$  – площадь поверхности источника (м<sup>2</sup>);  
 $\theta$  – угол между направлением излучения и нормалью к площадке.

Световой поток,  $\Phi_v$  – это величина, образующаяся от лучистого потока  $\Phi_e$  при оценке излучения по его действию на стандартного фотометрического наблюдателя МКО, измеряется в люменах, лм. Световой поток Солнца равен  $3,63 \cdot 10^{28}$  лм, световой поток лампы накаливания мощностью 100 Вт составляет 1250 лм, мощность светодиодной лампы со световым потоком 1250 лм составляет примерно 10 Вт.

Сила света – световой поток, приходящийся на единицу телесного угла в котором он распространяется, измеряется в канделах, кд. Кандела от лат. – свеча, одна кандела примерно соответствует силе света свечи.

Освещенность – световой поток, проходящий через единицу поверхности по всевозможным направлениям в пределах полусферического телесного угла, измеряется в люксах, лк.

Яркость – величина световой поток, излучаемого единицей площади в единицу телесного угла в данном направлении, измеряется в кд/м<sup>2</sup>.

Световая отдача  $n$  (лм/Вт) – отношение излучаемого светового потока к мощности, потребляемой источником света. Световая отдача определяется по формуле:

$$n = \Phi_v / P, \quad (12)$$

где,  $n$  – световая отдача, лм/Вт;  $\Phi_v$  – световой поток, лм;  $P$  – потребляемая мощность, Вт.

### **Задание на лабораторную работу**

1. Ознакомится с требованиями по охране труда и пожарной безопасности, расписаться в журнале инструктажа.
2. Ознакомится с оборудованием и методами измерения светотехнических характеристик источников света.
3. Зачистить и залудить монтажные провода, припаять к светодиоду.
4. С шагом 10 мА провести измерение светового потока с помощью фотометрического шара.
5. С помощью гонеофотометра измерить кривую силы света при рабочем значении тока.

6. По значениям кривой силы света рассчитать световой поток светодиода.
7. Построить график зависимости светового потока и световой отдачи от тока.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое световой поток.
2. Что такое гонеофотометр.
3. Что такое фотопическая функция человеческого глаза.
4. Какие длины волн оптического излучения бывают.
5. Почему с ростом прямого тока у светодиода снижается световая отдача.

### Лабораторная работа № 3 «Измерение колориметрических характеристик источников света»

Целью работы является знакомство с методами и средствами измерения колориметрических характеристик источников света, оценка их возможностей и погрешностей.

#### Краткая теория

Коррелированная цветовая температура КЦТ (К) – температура черного тела, при которой координаты цветности его излучения близки в пределах заданного допуска к координатам цветности рассматриваемого излучения на цветовом графике МКО.

Координаты цвета – количество трех основных цветовых стимулов в данной трехцветной колориметрической системе, необходимое для уравнивания по цвету с измеряемым цветом.

В стандартах приняты соответствия значений коррелированной цветовой температуры координатам цветности. Стандартные координаты цветности, соответствующие этим КЦТ:

F6500 (КЦТ 6400,  $x=0,313$ ,  $y=0,337$ ),  
F5000 (КЦТ 5000,  $x=0,346$ ,  $y=0,359$ ),  
F4500 (КЦТ 4500,  $x=0,361$ ,  $y=0,366$ ),  
F4000 (КЦТ 4040,  $x=0,380$ ,  $y=0,380$ ),  
F3500 (КЦТ 3450,  $x=0,409$ ,  $y=0,394$ ),  
F3000 (КЦТ 2940,  $x=0,440$ ,  $y=0,403$ ),  
F2700 (КЦТ 2720,  $x=0,463$ ,  $y=0,420$ ).

Допуск заданных в стандарте значений КЦТ определяются типами эллипса МакАдама.

Диаграммы цветности МКО  $x$ ,  $y$  являются основой для ранжирования графиков или их отбора (бининга). Эти кривые используют геометрическое пространство диаграммы цветности в соответствии с графиком чёрного излучателя для определения изменений в координатах хроматичности. Эти координаты используются для классификации по цветовой температуре светодиода в оттенках белого света и индекса цветопередачи (CRI), тесный контакт будет расположен вблизи графика чёрного излучателя (или линии цветности Планка), диаграмма МКО приведена на рисунке 2.

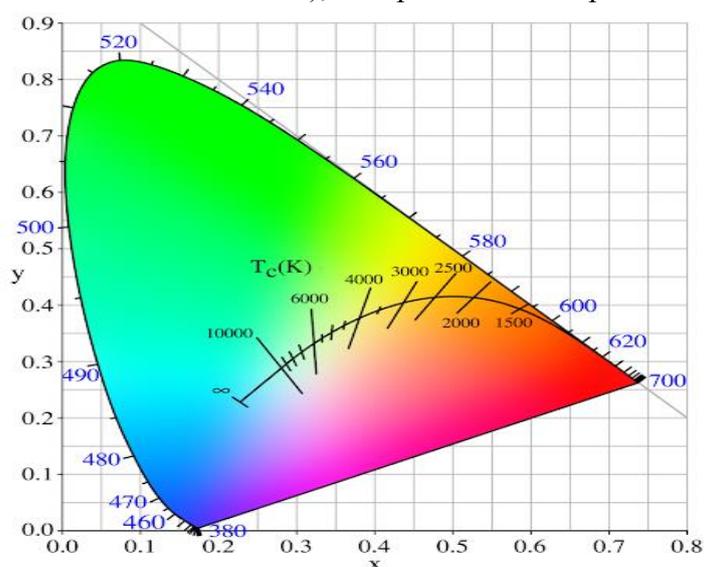


Рисунок 2 – Диаграмма МКО

Индекс цветопередачи CRI (относительные единицы) – общее понятие, характеризующее влияние спектрального состава излучения источника на зрительное восприятие цветных объектов по сравнению с восприятием их при освещении стандартным источником света. Для определения индекса цветопередачи используются эталонный источник (лампа накаливания) и эталонные поверхности цвета основные (цвет увядшей розы, горчичный, салатный, светло-зеленый, бирюзовый, небесно-голубой, цвет фиолетовой астры, сиреневый) и дополнительные (красный, желтый, зеленый, синий, цвет кожи, цвет зеленого листа).

Эллипсы Мак Адама представляют собой систему измерения цвета. Она измеряет изменение и отличие цветов, различимое человеческим глазом в зависимости от расстояния в цветовом пространстве. Группы эллипсов начерчены вокруг заданного цвета. Чем ближе цвет светодиода к заданному цвету в центре эллипса, тем меньшее значение будет иметь его изменение и, таким образом, различие в цветах данной серии светодиодов будет менее заметно. Стандартный набор состоит из 25 эллипсов Мак Адама. Каждый эллипс содержит цвета, которые не могут быть дифференцированы средним наблюдателем, когда они имеют одинаковую яркость. Эллипсы Мак Адама имеют 7 ступеней, которые используются для сравнения двух источников света, при этом ступени представляют собой пределы цветового пространства. Источники света с цветовым пространством 3-ступенчатого эллипса Мак Адама отличаются друг от друга меньше, чем два источника света, цветовое пространство которых соответствует 5-ступенчатому эллипсу. Для значений коррелированной цветовой температуры установлены требования к категории в зависимости от типа эллипса Мак Адама, таблица 5.

Таблица 5. Категория КЦТ в зависимости от типа эллипса Мак Адама

Тип эллипса Мак Адама	Категория КЦТ
Все измеренные КЦТ в пределах 1-ступенчатого эллипса	Категория 1
Все измеренные КЦТ в пределах 2-ступенчатого эллипса	Категория 2
Все измеренные КЦТ в пределах 3-ступенчатого эллипса	Категория 3
Все измеренные КЦТ в пределах 4-ступенчатого эллипса	Категория 4
Все измеренные КЦТ в пределах 5-ступенчатого эллипса	Категория 5
Все измеренные КЦТ в пределах 6-ступенчатого эллипса	Категория 6
Все измеренные КЦТ в пределах 7-ступенчатого эллипса	Категория 7
Все измеренные КЦТ вне 7-ступенчатого эллипса	Категория 8

### Задание на лабораторную работу

1. Ознакомится с требованиями по охране труда и пожарной безопасности, расписаться в журнале инструктажа.
2. Ознакомится с оборудованием и методами измерения колориметрических характеристик источников света.
3. Зачистить и залудить монтажные провода, припаять к светодиоиду.
4. С шагом 10 мА провести измерение коррелированной цветовой температуры и цветowych координат с помощью спектроколориметра.
5. Для рабочего значения прямого тока измерьте спектр излучения светодиода и рассчитайте индекс цветопередачи.
6. Постройте графики зависимость коррелированной цветовой температуры и цветowych координат от значений прямого тока
7. По п. 6 определите, выходят ли значения коррелированной цветовой температуры и цветowych координат в зависимости от прямого тока за эллипсы Мак Адама.

### Контрольные вопросы

1. Что такое коррелированная цветовой температура.
2. Что такое индекс цветопередачи.
3. Что такое эллипсы Мак Адама.
4. Как работает спектроколориметр.
5. Чем отличается цветовой температура от коррелированной цветовой температуры.

## Лабораторная работа № 4 «Измерение влажности воздуха»

**Целью работы:** знакомство с методами и средствами измерения влажности воздуха, закрепить знания на практике.

### Краткая теория

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 °С без конденсации влаги в течении 12 месяцев 98%.

Например, в ГОСТ 14254-2015 приведены требования к степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) и методы испытаний. Код IP указывается в документации на изделия электротехники. При обозначении кода IP используются цифровые значения, где первая характеристическая цифра, степень защиты оборудования от проникновения внешних твёрдых предметов (0 – нет защиты, 1 – диаметр  $\geq 50$  мм, 2 – диаметр  $\geq 12,5$  мм, 3 – диаметр  $\geq 2,5$  мм, 4 – диаметр  $\geq 1,0$  мм, 5 – пылезащищённое, 6 – пыленепроницаемое), вторая, степень защиты от вредного проникновения воды (0 – нет защиты, 1 – вертикальное каплепадение, 2 – каплепадение (номинальный угол 15°), 3 – дождевание, 4 – действие струи, 6 – сильное действие струи, 7 – временное непродолжительное погружение, 8 – длительное погружение, 9 – горячая струя воды под высоким давлением).

Согласно правилам эксплуатации электроустановок (седьмое издание), помещения по влажности делятся на: сухие (помещения, в которых относительная влажность воздуха не превышает 60 %), влажные (помещения, в которых относительная влажность воздуха более 60 %, но не превышает 75 %), сырые (помещения, в которых относительная влажность воздуха превышает 75 %), особо сырые (помещения, в которых относительная влажность воздуха близка к 100 %, потолок, станы, пол и предметы, находящиеся в помещении, покрыты влагой).

Абсолютная влажность  $a$  – количество водяного пара в граммах, содержащихся в одном кубическом метре воздуха ( $\text{г}/\text{м}^3$ ).

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:

$$a = 217 e / T \quad \text{или} \quad a = 0,8e / 1 + \alpha t \quad (13)$$

где,  $T$  и  $t$  – температура водяного пара (воздуха) в К и °С соответственно,

$\alpha$  – 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:

$$f = e 100 \% / E \quad (14)$$

где,  $E$  – максимально возможная упругость пара при данной температуре.

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

Гигрометры можно разделить на две группы:

а) гигрометры, основанные на физическом законе, позволяющем непосредственно определять влажность, это – конденсационные гигрометры, психрометры, электролитические и сорбционные гигрометры;

б) гигрометры, принцип действия которых основан на измерении свойств тела,

связанных с влажностью, например, импедансные гигрометры.

Перед выбором типа гигрометра важно выделить параметр, который хотят измерить. Точку росы целесообразно определять с помощью конденсационных, сорбционных и электролитических гигрометров, относительную влажность – с помощью гигрометров на основе изменения сопротивления и емкости (импедансные гигрометры). Наиболее распространенными датчиками измерения влажности воздуха являются психрометры и волосные гигрометры.

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

1. Измерить влажность воздуха.
2. Включить генератор водяного пара и проводить измерения влажности воздуха каждые 5 минут в течение 15 минут.
3. Отключить генератор водяного пара, выждать 10 минут и провести измерение влажности воздуха.
4. Обработать полученные результаты, построить график с учётом погрешности измерений.
5. Оформить отчёт по данной работе.

#### **Контрольные вопросы**

1. В чём отличие абсолютной и относительной влажности воздуха.
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 № 5 «Измерение скорости движения воздушного потока»

**Цель работы:** изучить методы и средства измерения скорости движения воздушного потока, закрепить знания на практике.

### Теоретическая часть

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.

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

$$F = (0,06v + 0,3) \text{ м/с} \quad (15)$$

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

$$n = (N_{кон} - N_{нач}) / t \quad (16)$$

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:

$$F = (0,06v + 0,1), \quad (17)$$

где,  $v$  – средняя скорость движения измеряемого потока.

При проведении измерений ось чашечного анемометра располагают параллельно движущемуся потоку. Процедура измерения аналогична указанной выше.

### Задание на лабораторную работу

1. Включить вентилятор
2. Произвести измерение скорости движения воздуха на расстоянии 1 метр от вентилятора согласно методике измерения.
3. С помощью крыльчатого анемометра произвести измерения в различных точках помещения и определить застойные зоны.
4. Рассчитать погрешность измерений.
5. 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 № 6 «Расчёт устройства дезинфекции поверхностей»

**Цель работы:** научиться рассчитывать дозу облучения для дезинфекции поверхностей.

### Краткая теория

На рис. 3 приведён внешний вид УФ диода High Power UVC LED производства Shenzhen Shining Opto-electronic Co, в таблице 6 приведены его технические характеристики.



Рисунок 3 – Внешний вид

Таблица 6. Технические характеристики

Наименование параметра	Единица измерения	Значение параметра
Длина волны излучения	нм	275
Оптическая мощность излучения	мВт	19
Значение прямого напряжения	В	5,0 – 7,0
Угол излучения по уровню 0,5	градус	120
Значения приведены для прямого тока	мА	200

Основные формулы для расчёта:

Поверхностная бактерицидная доза облучения (экспозиция) ( $H$ ), мДж/см<sup>2</sup>, определяется по формуле:

$$H = E \times t \quad (18)$$

где,  $E$  – бактерицидная облучённость поверхности, Вт/м<sup>2</sup>;  
 $t$  – времени облучения, с;

Бактерицидная облучённость поверхности определяется по формуле:

$$E = I_e / r^2, \quad (19)$$

где,  $I_e$  – силы бактерицидного излучения, Вт/ср;  
 $r$  – расстояние от источника излучения до облучаемой поверхности, м.

Сила бактерицидного излучения определяется по формуле:

$$I_e = \Phi_e / \Omega \quad (20)$$

где,  $\Phi_e$  – бактерицидный поток излучения, Вт;  
 $\Omega$  – телесный (объёмный) угол.

Для пересчёта значения телесного (объёмного) угла  $\Omega$  из стерадиан в плоский угол по уровню 0,5 от максимального значения силы бактерицидного излучения ( $\phi$ ) в градусы используется формула:

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos(((\phi \times \pi) / 180) / 2)) \quad (21)$$

Для пересчёта значения бактерицидного потока излучения в оптическую мощность излучения ( $P_e$ ) применяется формула:

$$\Phi_e = P_e \times S(\lambda)_{отн.}, \quad (22)$$

где,  $S(\lambda)_{отн.}$  – коэффициент относительной спектральной бактерицидной

эффективности.

Варианты в соответствии со списком группы:

№	Расстояние облучателя от поверхности, мм	Время облучения, с	Вид микроорганизма, подлежащего инактивации
1.	1	1	Shigella flexneri
2.	2	2	Salmonella typhi
3.	3	3	Shigella dysenteriae
4.	4	4	Proteus vulgaris
5.	5	5	Staphylococcus aureus
6.	6	6	Escherichia coli
7.	7	7	Virus poliomyelitis
8.	8	8	Salmonella paratyphi
9.	9	9	Vibrio cholerae
10.	10	10	Orthomyxoviridae (вирусы гриппа)
11.	11	11	Salmonella enteritidis
12.	12	12	Mycobacterium tuberculosis
13.	13	13	Pseudomonas aeruginosa
14.	14	14	Virus hepatitis A
15.	15	15	Shigella flexneri
16.	16	16	Salmonella typhi
17.	17	17	Shigella dysenteriae
18.	18	18	Proteus vulgaris

Ответ необходимо представить в виде файла в формате MS Word, с указанием варианта задания и расчётами.

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

1. Изучите термины и определения: Р 3.5.1904-04 «Использование ультрафиолетового бактерицидного излучения для обеззараживания воздуха в помещениях».

2. Изучите значения доз облучения для дезинфекции различных видов микроорганизмов МУ 2.1.4.719-98 «Санитарный надзор за применением ультрафиолетового излучения в технологии подготовки питьевой воды».

3. Рассчитайте количество УФ диодов для дезинфекции поверхности площадью 1 см<sup>2</sup>.

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое бактерицидная эффективность.
2. Чем отличается поверхностная бактерицидная доза облучения (экспозиция), от объёмной бактерицидной дозы облучения.
3. Какой КПД УФ диода, приведённого в краткой теории.

## Лабораторная работа № 7 «Определение температуры электронного компонента»

**Цель работы:** научиться рассчитывать температуры электронного компонента

### Краткая теория

В микроэлектронике для оценки способности конструкции отводить тепло от активной области кристалла, используя следующие формулы для определения теплового сопротивления:

$$P_e = \frac{(T_1 - T_2)}{R_t}, \quad (23)$$

где,  $P_e$  – мощность, рассеиваемая в данном компоненте;

$T_1, T_2$  – значения температуры двух тел или тела и среды ( $T_1$  более высокая температура, чем  $T_2$ );

$R_t$  – тепловое сопротивление.

Для слоевой структуры тепловое сопротивление каждого слоя приближённо оценивается по формуле:

$$R_t = \frac{\delta}{\lambda \cdot S}, \quad (24)$$

где,  $\delta$  – толщина слоя (м);

$S$  – площадь слоя (м<sup>2</sup>);

$\lambda$  – теплопроводность вещества (Вт/м·К).

### Задание на лабораторную работу

Нагретый электронный элемент потребляет постоянное напряжение  $U_{np} = 3,2$  В при прямом токе  $I_{np} = 20$  мА, расположен на медной пластине размерами  $1000 \times 1000 \times 100$  мкм<sup>3</sup>, всё тепло от нагретого элемента проходит через данную пластину. Необходимо определить температуру электронного элемента, если температура окружающей среды составляет  $T_{окр} = 25$  °С.

*Дано:*

$U_{np} = 3,2$  В,

$I_{np} = 20$  мА,

медная пластина с размерами  $1000 \times 1000 \times 100$  мкм<sup>3</sup>,

теплопроводность меди 400 Вт/м·К,

$T_{окр} = 25$  °С.

*Определить:*

Температуру электронного элемента  $T_э$ .

*Решение:*

Определим тепловое сопротивление  $R_t$ , используя формулу:

$$R_t = \delta / (\lambda \cdot S)$$

где  $\delta$  – толщина слоя (м);

$S$  – площадь слоя (м<sup>2</sup>);

$\lambda$  – теплопроводность меди (Вт/м·К).

$$R_t = 0,0001 / (0,001 \times 0,001 \times 400) = 0,25 \text{ К/Вт.}$$

Определим рассеиваемую мощность по формуле:

$$P = U_{np} \times I_{np},$$

$$P = 3,2 \text{ В} \times 0,02 \text{ А} = 0,064 \text{ Вт} = 64 \text{ мВт.}$$

Определим температуру электронного элемента  $T_э$  по формуле:

$$T_э = T_{окр} + (R_t \times P),$$

$$T_э = 25 \text{ °С} + (0,25 \text{ К/Вт} \times 0,064 \text{ Вт}) = 25,016 \text{ °С.}$$

*Ответ*

Температура электронного элемента  $T_э = 25,016$  °С.

Индивидуальное задание

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{окр}$ (°C)	-60	-45	-25	-10	0	10	15	20	25	30
$U_{np}$ (В)	1	2	3	5	10	15	3,5	2,5	5,5	1,5
$I_{np}$ (А)	15	5	2	3	4	1	7	6	8	9
Пластины с размерами $1000 \times 1000 \times 100$ мкм <sup>3</sup>										
Материал пластины	медь	серебро	золото	алюминий	алмаз	нитрид алюминия	кремний	платина	олово	Карбид кремния

Определить температуру электронного элемента.

**Контрольные вопросы**

1. Что такое теплопроводность.
2. Что такое тепловое сопротивление
3. Методика измерения теплового сопротивления

## Лабораторная работа № 8 «Сила и скорость ветра»

**Цель работы:** научиться рассчитывать вентиляционную систему в помещении

### Краткая теория

Сила ветра определяется по Шкале Бофорта в баллах.

Шкала Бофорта – условная шкала, позволяющая визуально оценить приблизительную силу ветра по его действию на наземные предметы или по волнению на море. Английский адмирал Ф. Бофортом разработал эту шкалу в 1806 году. В 1874 году Постоянный комитет Первого метеорологического конгресса принял шкалу Бофорта для использования в международной синоптической практике (таблицы 7, 8).

Таблица 7.

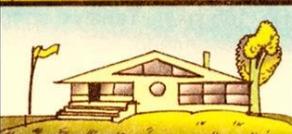
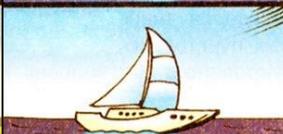
0 баллов	0,0-0,2 м/с	Штиль		
1 балл	0,3-1,5 м/с	Тихий ветер		
2 балла	1,6-3,3 м/с	Лёгкий ветер		
3 балла	3,4-5,4 м/с	Слабый ветер		
4 балла	5,5-7,9 м/с	Умеренный		
5 баллов	8,0-10,7 м/с	Свежий ветер		
6 баллов	10,8-13,8 м/с	Сильный ветер		
7 баллов	13,9-17,1 м/с	Крепкий ветер		
8 баллов	17,2-20,7 м/с	Очень крепкий		
9 баллов	20,8-24,4 м/с	Шторм		
10 баллов	24,5-28,4 м/с	Сильный шторм		
11 баллов	28,5-32,6 м/с	Жестокий шторм		
12 баллов	32,7 и более	Ураган		

Таблица 8.

Баллы Бофорта	Словесное определение силы ветра	Скорость ветра, м/с	Действие ветра	
			На суши	На море
0	Штиль	0-0,2	Штиль. Дым поднимается вертикально	Зеркальное гладкое море
1	Тихий	0,3-1,5	Направление ветра заметно по отношению дыма, но не по флажкам	Рябь, пены на гребнях нет
2	Лёгкий	1,6-3,3	Движение ветра ощущается лицом,	Короткие волны, гребни не

			шелестят листья, приводится в движение флюгер	опрокидываются и кажутся стекловидными
3	Слабый	3,4-5,4	Листья и тонкие ветки деревьев всё время колышутся, ветер развеивает верхние флаги	Короткие, хорошо выраженные волны. Гребни, опрокидываясь, образуют стекловидную пену, изредка образуются маленькие белые барашки
4	Умеренный	5,5-7,9	Ветер поднимает пыль и бумажки, приводит в движение тонкие ветви деревьев	Волны удлинённые, белые барашки видны во многих местах
5	Свежий	8,0-10,7	Качаются тонкие стволы деревьев, на воде появляются волны с гребнями	Хорошо развитые в длину, но не очень крупные волны, повсюду видны белые барашки (в отдельных случаях образуются брызги)
6	Сильный	10,8-13,8	Качаются толстые сучья деревьев, гудят телеграфные провода	Начинают образовываться крупные волны. Белые пенистые гребни занимают значительную часть площади (вероятны брызги)
7	Крепкий	13,9-17,1	Качаются стволы деревьев, идти против ветра трудно	Волны громоздятся, гребни срываются, пена ложится по ветру
8	Очень крепкий	17,2-20,7	Ветер ломает сучья деревьев, идти против ветра очень трудно	Умеренно высокие длинные волны. По краям гребней начинают взлетать брызги. Полосы пены ложатся рядами по направлению ветра
9	Шторм	20,8-24,4	Небольшие повреждения; ветер срывает дымовые колпаки и черепицу	Высокие волны. Пена широкими плотными полосами ложится по ветру. Гребни волн начинают опрокидываться и рассыпаться в брызги, которые ухудшают видимость
10	Сильный шторм	24,5-28,4	Значительное	Очень высокие волны

			разрушение строений, деревья вырываются с корнями	с длинными загибающимися вниз гребнями. Образующаяся пена выдувается ветром в виде больших хлопьев
11	Жёсткий шторм	28,5-32,6	Большие разрушения строений на значительном пространстве	Исключительно высокие волны. Суда небольшого и среднего размера временами скрываются под водой. Море всё покрыто длинными белыми хлопьями пены, располагающимися по ветру. Видимость плохая
12	Ураган	32,7 и более	–	Воздух наполнен пеной и брызгами. Море всё покрыто полосами пены. Очень плохая видимость

Маломерным судам (до 20 метров и общее количество людей не более 12) запрещено выходить в рейс при силе ветра более 5 баллов.

Аналогичное ограничение действует для малой авиации.

**Скорость ветра** – или скорость потока ветра, является фундаментальной атмосферной величиной, вызванной движением воздуха от высокого к низкому давлению, обычно из-за изменений температуры.

Прибором для измерения скорости движения газов, воздуха в системах, например, вентиляции, в метеорологии применяется для измерения скорости ветра называется анемометр (Рис.4).



Анемометры: А – чашечный, Б – крыльчатый

Анемометры используются не только для определения скорости ветра, но и для

контроля вентиляции в производственных помещениях.

### Задание на лабораторную работу

Определить необходимое количество воздуха и кратность воздухообмена общеобменной вентиляции, предназначенной для удаления избытков тепла в помещении оператора газовой котельной.

Исходные данные для расчета

Параметр	Варианты									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Высота помещения $h$ , м	3	4	5	6	7	6	5	4	3,5	3
Площадь помещения $S$ , м <sup>2</sup>	18	24	30	36	30	24	30	25	30	35
Количество работающих, $n$ , чел	3	4	5	4	3	4	5	2	6	2
Мощность электроустановки $P$ , Вт	3200	3500	4300	2800	5300	4100	5000	2100	2500	1850

Общеобменная вентиляция – система, в которой воздухообмен, найденный из условий борьбы с вредностью, осуществляется путем подачи и вытяжки воздуха из всего помещения.

$$V_{\text{вент}} = (3600 \times Q_{\text{изб}}) / (pC \times (t_{\text{yx}} - t_{\text{np}})) \quad (25)$$

где,  $Q_{\text{изб}}$  – выделение в помещении явного тепла, Вт;  
 $C$  – теплоемкость воздуха, ( $C = 1,03 \times 10^3$  Дж/кг);  
 $p$  – плотность воздуха, ( $p = 1,3$  кг/м<sup>3</sup>);  
 $t_{\text{yx}}, t_{\text{np}}$  – температура удаляемого и приточного воздуха, °С; принять  $t_{\text{np}} = 17,5$  °С.  
 Температура удаляемого воздуха определяется из формулы:

$$t_{\text{yx}} = t_{\text{pz}} + d(h - 2) \quad (26)$$

где,  $t_{\text{pz}}$  – температура воздуха в рабочей зоне;  $t_{\text{pz}} = 24$  °С;  
 $d$  – коэффициент нарастания температуры на каждый метр высоты ( $d = 1,5$  град/м);  
 $h$  – высота помещения, м.

Количество избыточного тепла определяется из теплового баланса, как разность между теплом, поступающим в помещение, и теплом, удаляемым из помещения и поглощаемым в нем.

$$Q_{\text{изб}} = Q_{\text{прит}} - Q_{\text{расх}} \quad (27)$$

Поступающее в помещение тепло определяется по формуле:

$$Q_{\text{прит}} = Q_{\text{об}} + Q_{\text{л}} \quad (28)$$

где,  $Q_{\text{обор}}$  – тепло от работы оборудования;  
 $Q_{\text{л}}$  – тепло, поступающее от людей.

Тепло от работы оборудования:

$$Q_{\text{об}} = N \times P \quad (29)$$

где,  $N$  – доля энергии, переходящей в тепло (15%);  
 $P$  – мощность газовой котельной.

Тепло, поступающее от людей:

$$Q_{\text{л}} = n \times q \quad (30)$$

где,  $n$  – количество работающих в помещении;  
 $q$  – количество тепла, выделяемое человеком ( $q = 90$  Вт).

Теплопотери через неплотности в наружных ограждениях здания:

$$Q_{\text{расх}} = 0,1 \times Q_{\text{прит}} \quad (31)$$

Определив  $Q_{\text{изб}}$ , по формуле (1) находим необходимый воздухообмен  $V_{\text{вент}}$ ;

кратность воздухообмена определяется по формуле:

$$k = V_{\text{вент}} / V_{\text{пом}}, \text{ ч}^{-1} \quad (32)$$

где,  $V_{\text{пом}}$  – объем помещения, м<sup>3</sup>.

Результаты расчета свести в таблицу 4.

Таблица 9. – Результаты расчета

Параметр	Значение
Высота помещения $h$ , м	
Площадь помещения $S$ , м <sup>2</sup>	
Количество работающих, $n$ , чел	
Мощность электроустановок $P$ , Вт	
Тепло от работы оборудования $Q_{об}$ , Вт	
Тепло, поступающее от людей $Q_{л}$ , Вт	
Теплопотери через неплотности в наружных ограждениях здания $Q_{расх}$ , Вт	
Кратность воздухообмена $k$ , ч <sup>-1</sup>	

### Контрольные вопросы

1. Что такое сила ветра.
2. Что такое скорость ветра и какими приборами она определяется.
3. Что такое кратность воздухообмена в помещении.

## 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. Ландсберг Г.С. Оптика. Учеб. Пособие: Для вузов. – 6-е изд., стереот. – М. ФИЗМАТЛИТ, 2003. – 848 с.
3. Назаров В.Н., Карабегов М.А., Мамедов Р.К. Основы метрологии и технического регулирования. Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 110 с.
4. Мониторинг и методы контроля окружающей среды: учебное пособие: В 2 ч. / Ред. Ю. А. Афанасьев, Ред. С. А. Фомин. – М.: МНЭПУ. – 2001.
5. 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.
6. Грибанов Ю.И. Измерения и приборы в радиолюбительской практике, М., «Энергия», 1999. – 192с.
7. 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.
8. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196с.
9. Виноградов Ю.А. Радиолюбителю конструктору: Си Би связь, дозиметрия, ИК техника, электронные приборы, средства связи / М.:«ДМК». – 2006. – 240 с.
10. Шуберт, Ф. Светодиоды / Ф. Шуберт; пер. с англ. А.Э. Юновича. – 2-е изд. – Москва: ФИЗМАТЛИТ, 2008. – 496 с.