

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 практической и самостоятельной работе для
студентов технических направлений подготовки и специальностей

Томск
2022

УДК 681.586: 504 (075.8)

ББК 32.84

С 60

Солдаткин, Василий Сергеевич

С 60 Приборы и датчики экологического контроля: Методические указания по практической и самостоятельной работе для студентов технических направлений подготовки и специальностей / В.С. Солдаткин. – Томск: Томск. гос. ун-т систем упр. и радиоэлектроники, 2022 – 27 с.

Настоящие методические указания по практической и самостоятельной работе 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 практических занятий и самостоятельной работе 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

Практическое занятие № 1 «Погрешности измерения»	4
Краткая теория.....	4
Задача по практическому занятию № 1.....	6
Практическое занятие № 2 «Шкалы термодинамических приборов»	8
Краткая теория.....	8
Задача по практическому занятию № 2.....	9
Практическое занятие № 3 «Шкалы термодинамических приборов»	11
Краткая теория.....	11
Задача по практическому занятию № 3.....	11
Практическое занятие № 4 «Светотехнические характеристики источников света».....	13
Краткая теория.....	13
Задача по практическому занятию № 4.....	16
Практическое занятие № 5 «Светотехнические характеристики источников света».....	18
Краткая теория.....	18
Задача по практическому занятию № 5.....	18
Задание на самостоятельную работу № 1 «Загрязнения воздуха».....	19
Краткая теория.....	19
Задание на самостоятельную работу № 1	19
Задание на самостоятельную работу № 2 «Загрязнения воды».....	20
Краткая теория.....	20
Задание на самостоятельную работу № 2	21
Задание на самостоятельную работу № 3 «Загрязнения почвы».....	22
Краткая теория.....	22
Задание на самостоятельную работу № 3	22
Задание на самостоятельную работу № 4 «Приборы и датчики экологического контроля»	23
СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	24

Практическое занятие № 1 «Погрешности измерения»

Целью работы является знакомство с оценкой погрешностей измерений.

Краткая теория

Физическая величина – какое-либо свойство физического объекта (предмета, процесса).

Датчик (сенсор, от англ. sensor) – первичный преобразователь, элемент измерительного, сигнального, регулирующего или управляющего устройства системы, преобразующий контролируемую величину в сигнал, удобный для измерения, передачи, преобразования, хранения и регистрации, а также для воздействия им на управляемые процессы. Датчик – это устройство, которое, подвергается воздействию физической величины, выдавая эквивалентный сигнал, являющийся функцией измеряемой величины:

$$S = F(m) \quad (1)$$

где, S – входная величина датчика, а m – выходная величина.

Сигнал (от лат. signum – знак) – знак, физический процесс или явление, несущие сообщение о каком-либо событии, состоянии объекта либо передающие команды управления, оповещения и т. д. Посредством совокупности сигналов можно с той или иной степенью полноты представить любое, сколь угодно сложное событие. По своей природе сигнал может быть механическим, тепловым, световым, электрическим, электромагнитным, звуковым и др.

Соотношение (1.1) в общей теоретической форме выражает физические законы, положенные в основу работы датчика. Однако характеристики преобразования в численной форме определяются экспериментально в результате градуировки.

Градуировка – измерение значений S для ряда точек известных значений m , что позволяет построить градуировочную кривую.

Градуировка средств измерений (от лат. gradus — шаг, ступень, степень), метрологическая операция, при помощи которой средство измерений (меру или измерительный прибор) снабжают шкалой или градуировочной таблицей (кривой). Отметки шкалы должны с требуемой точностью соответствовать значениям измеряемой величины, а таблица (кривая) с требуемой точностью отражать связь эффекта на выходе прибора с величиной, подводимой к входу (например, зависимость ЭДС термопары пирометра от температуры её рабочего спая).

На практике целесообразно использовать датчики, у которых существует линейная зависимость между малыми приращениями входной S и выходной m величиной.

$$S = s \times m \quad (2)$$

где, s – чувствительность датчика.

Чувствительность – способность объекта реагировать определённым образом на определённое малое воздействие, а также количественная характеристика этой способности.

Важнейшей проблемой при проектировании датчика и использовании датчиков является обеспечение постоянства чувствительности датчика, которая должна как можно меньше зависеть от входной величины, частоты измерений, времени и воздействия других физических величин, характеризующих окружающие объекты.

Мера – средство измерения, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Погрешность(Δ) – это разность между показаниями СИ и истинным (действительным) значением измеряемой физической величины (Q) $\Delta = X - Q$

Случайная – неизбежна и неустранима

Систематическая – постоянная погрешность результата измерений

Погрешность является показателем точности.

Эталон – средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины с целью передачи ее другим средствам измерений данной величины.

Единство измерений – состояние измерений, при котором их результаты выражены в допущенных к применению в РФ единицах величин, а показатели точности измерений не выходят за установленные границы.

Таблица 1. Классификация физических величин

Величины		
Реальные		Идеальные
Физические	Нефизические	Математические
Измеряемые		
Оцениваемые		

	Величины		
Энергетические (активные)	Вещественные (пассивные)		Характеризующие процессы

Энергетические (активные) – т.е. величины, описывающие энергетические характеристики процессов преобразования, передачи и использования энергии.

Вещественные (пассивные) – описывающие физические и физико-химические свойства вещества, материалов и изделий из них.

Характеризующие протекание процессов во времени- различного вида спектральные характеристики, корреляционные функции и др.

Измерения бывают прямые и косвенные: прямые – искомое значение – непосредственно из опытных данных; косвенные – на основании зависимости между искомой и полученной при прямом измерении величинами.

Средства измерения бывают механические, пневматические, оптические, электрические.

Классы точности присваивают средствам измерений с учетом результатов государственных приемочных испытаний (I, II, III и т.д. или М,С и т.д.).

Задача по практическому занятию № 1

В результате поверки амперметра в контролируемых точках шкалы:

1–2–3–4–5 А получены следующие показания:

– при увеличении силы тока 1,1–2,3–2,9–3,8–4,7 А;

– при уменьшении силы тока 4,7–3,9–2,8–2,1–1,2 А.

Необходимо определить абсолютную, относительную, приведённую погрешности, вариацию показаний и класс точности амперметра.

Решение:

Абсолютная погрешность это разность между измеренным G_u и истинным G значениями величины, определяемая по формуле:

$$\Delta_n = \Delta G = G_u - G, \quad (3)$$

Определим абсолютные погрешности показаний в точках шкалы амперметра:

$$+0,1 \text{ А} - +0,3 \text{ А} - -0,1 \text{ А} - -0,2 \text{ А} - -0,3 \text{ А} - -0,1 \text{ А} - -0,2 \text{ А} - +0,1 \text{ А} - +0,2 \text{ А},$$

выберем наибольшее по модулю значение погрешности, абсолютная погрешность $\Delta_n = 0,3 \text{ А}$.

Относительная погрешность по формуле:

$$\delta = \pm \Delta G / G_u \cdot 100\%, \quad (4)$$

$$10\% - 15\% - 3\% - 5\% - 6\% - 2,5\% - 6,7\% - 5\% - 20\%,$$

наибольшее значение относительной погрешности показаний $\delta = 20\%$.

Приведённая погрешность определяется по формуле:

$$\gamma = \pm \Delta G / G_{\text{норм}} \cdot 100\%, \quad (5)$$

$$\gamma = (0,3/5) \cdot 100\% = 6\%.$$

По стандартному ряду значению приведённой погрешности соответствует 6–й класс точности.

Ответ:

- абсолютная погрешность амперметра $\Delta_{и} = 0,3 \text{ A}$,
- относительная погрешность показаний $\delta = 20\%$,
- приведённая погрешность $\gamma = 6\%$.

Индивидуальное задание

№	1 A	2 A	3 A	4 A	5 A
1	0,9	2,2	2,8	3,7	4,6
	4,6	3,8	2,7	2,0	1,1
2	0,8	2,1	2,7	3,6	4,5
	4,5	3,7	2,6	1,9	1,0
3	1,2	2,4	3,0	3,9	4,8
	4,8	4,0	3,0	2,3	1,3

Определить:

- абсолютную погрешность амперметра $\Delta_{и} = 0,3 \text{ A}$,
- относительную погрешность показаний $\delta = 20\%$,
- приведённую погрешность $\gamma = 6\%$.

Практическое занятие № 2 «Шкалы термодинамических приборов»

Целью работы является знакомство со шкалами термодинамических приборов.

Краткая теория

Шкалами от термодинамических являются шкала Цельсия и шкала Фаренгейта.

Шкала Цельсия получается из абсолютной шкалы Кельвина, если за нуль принять температуру замерзания воды и градус Цельсия ($^{\circ}\text{C}$) равен одному кельвина:

$$T (^{\circ}\text{C}) = T (\text{K}) - 273,16 \quad (6)$$

Шкала Фаренгейта получается смещением нуля абсолютной шкалы Рэнкина:

Единица измерения – градус Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$) – равна одному градусу Рэнкина

$$T (^{\circ}\text{F}) = T (\text{R}) - 459,67 \quad (7)$$

Формулы перехода из одной шкалы к другой имеют вид:

$$T (^{\circ}\text{C}) = [T (^{\circ}\text{F}) - 32] (5/9) \quad (8)$$

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

Для осуществления на практике точных измерений были выбраны три физические величины: сопротивление, электродвижущая сила (Э Д С) термопары, и излучение черного тела, являющихся функциями температуры, численное значение которых определяется в реперных точках.

В интервале температур от $-259,34^{\circ}\text{C}$ (тройная точка водорода) до температуры $630,74^{\circ}\text{C}$ (точка затвердевания сурьмы) используется температурная зависимость сопротивления проволоки, изготовленной из чистой платины. В интервале температур от 0 до $630,74^{\circ}\text{C}$ температура $T^{\circ}\text{C}$ выражается через измеренное сопротивление $R(T)$ в виде:

$$R(T) = R_0 (1 + A T + B T^2) \quad (10)$$

где, R_0 – сопротивление при температуре 0 С, а значения А и В вычисляются по результатам измерений R при температурах кипения воды (100°C) и серы ($444,6^{\circ}\text{C}$).

В диапазоне температур от $-259,39$ до 0°C температура определяется из формулы:

$$R(T) = R_0 [1 + A T + B T^2 + C (T - 100) T^3] \quad (11)$$

где, R_0, A, B – величины, определенные в предыдущем интервале, а C определяется по измеренному сопротивлению в точке кипения кислорода $-182,962^{\circ}\text{C}$

В интервале температур от $630,74$ до $1064,3^{\circ}\text{C}$ (точка затвердевания золота) измеряется ЭДС термопары платинородий – платина, зависимость которой от температуры выражается:

$$e(T) = a + b T + c T^2 \quad (12)$$

где, a, b, c определяются по результатам измерения e при температурах затвердевания

сурьмы (630,74 °С) серебра (961,93 °С) и золота (1064,43 °С) в условиях когда температура нулевого спая равна 0 °С.

При температурах выше 1064,43 °С абсолютная температура определяется по интенсивности излучения $L(T)$ черного тела на длине волны λ :

$$\frac{L(T)}{L(T_{Au})} = \frac{\exp\left(\frac{A}{\lambda T_{Au}} - 1\right)}{\exp\left(\frac{A}{\lambda T} - 1\right)} \quad (13)$$

где, $L(T_{Au})$ – интенсивность излучения на длине волны λ при температуре плавления золота, $A = 0,014388 \text{ К м}$ – константа. Интенсивность излучения измеряют с помощью монохроматического оптического пирометра.

Задача по практическому занятию № 2

Перевести значение температуры 25 °С в Кельвины и Фаренгейта.

Дано:

Температура 25 °С.

Записать значение температуры в Кельвинах и Фаренгейтах.

Решение:

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

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

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

$$T(\text{K}) = 25^{\circ}\text{C} + 273,16,$$

$$25^{\circ}\text{C} = 298,16 \text{ K}.$$

Шкала Фаренгейта получается смещением нуля абсолютной шкалы Рэнкина.

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

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

Формулы перехода из одной шкалы к другой имеют вид:

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

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

$$T(^{\circ}\text{F}) = 25^{\circ}\text{C} \times (9/5) + 32,$$

$$25^{\circ}\text{C} = 77^{\circ}\text{F}.$$

Ответ:

$$25^{\circ}\text{C} = 298,16 \text{ K} = 77^{\circ}\text{F}.$$

Индивидуальное задание

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$T(^{\circ}C)$	-60	-45	-25	-10	0	10	15	20	25	30	35	40

Определить:

Значение температуры в Кельвинах и Фаренгейтах.

Практическое занятие № 3 «Шкалы термодинамических приборов»

Целью работы является научиться рассчитывать температуру нагретого элемента через тепловое сопротивление.

Краткая теория

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

$$P_e = \frac{(T_1 - T_2)}{R_t}, \quad (14)$$

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:

$$R_t = \frac{\delta}{\lambda \cdot S}, \quad (15)$$

где, δ – толщина слоя (м);

S – площадь слоя (м²);

λ – теплопроводность вещества (Вт/м·К).

Задача по практическому занятию № 3

Нагретый электронный элемент потребляет постоянное напряжение $U_{np} = 3,2$ В при прямом токе $I_{np} = 20$ мА, расположен на медной пластине размерами $1000 \times 1000 \times 100$ мкм³, всё тепло от нагретого элемента проходит через данную пластину. Необходимо определить температуру электронного элемента, если температура окружающей среды составляет $T_{окр} = 25$ °С.

Дано:

$$U_{np} = 3,2 \text{ В},$$

$$I_{np} = 20 \text{ мА},$$

медная пластина с размерами $1000 \times 1000 \times 100$ мкм³,

теплопроводность меди 400 Вт/м·К,

$$T_{окр} = 25 \text{ °С}.$$

Определить:

Температуру электронного элемента $T_э$.

Решение:

Определим тепловое сопротивление R_t , используя формулу:

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

где δ – толщина слоя (м);

S – площадь слоя (м²);

λ – 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 $T_э = 25,016 \text{ °С}$.

Индивидуальное задание

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

Определить: температуру электронного элемента.

Практическое занятие № 4 «Светотехнические характеристики источников света»

Целью работы является знакомство с методами расчёта светотехнических характеристик источников света.

Краткая теория

Свет – это видимая область электромагнитного излучения в диапазоне от 380 до 750 нм. В таблице 1 приведены диапазоны спектров оптического излучения.

Таблица 1. Диапазоны спектров оптического излучения

ИК – излучен (103 – 105 ГГц) 300 мкм – 750 нм	Видимый свет (1013 – 1015 ГГц) 750 – 380 нм	УФ – излучение (7,5·10 ¹⁴ Гц – 3·10 ¹⁶ 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.

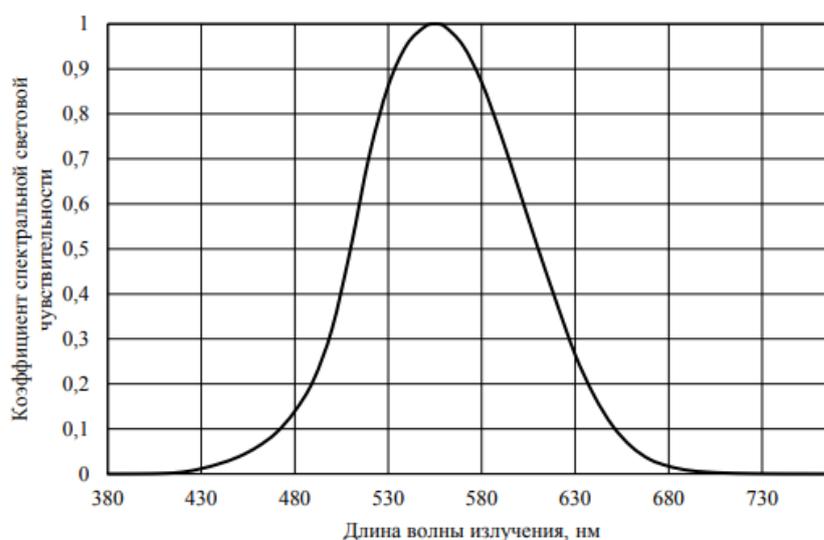


Рисунок 1 – Фотопическая функция

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

$$\Phi = 683(\text{лм/Вт}) \times K \times P \quad (16)$$

где, Φ – 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	Φ_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 ²	W/m^2	$N_{ph}/m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов излучаемых с 1м ² в секунду)
Энергетическая освещенность (облученность)	E_e	Вт/м ²	W/m^2	$N_{ph}/m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов на 1м ² в секунду)
Энергетическая яркость	L_e	Вт/ср*м ²	$W/sr \cdot m^2$	$N_{ph}/sr \cdot m^2 \cdot s$ (кол-во фотонов в телесном угле в 1ср на 1м ² в секунду)

Таблица 3. Световые величины

Наименование	Символ	Единица измерения	
		Россия	Система СИ
Световой поток	Φ_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 ²	lm/m^2
Освещенность	E_v	лк	$lm/m^2 = lx$
Яркость	L_v	лм/ср*м ² = кд/м ² = 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

$$\Phi_e (P_e) = dQ_e/dt \quad (17)$$

где, Φ_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.

$$I_e = \Phi_e / \Omega \quad (18)$$

где, I_e – сила излучения (Вт/ср);

Φ_e – поток излучения (Вт);

Ω – 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 стерadiansах.

$$\Omega = S / r^2 \quad (19)$$

где, Ω – 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:

$$E_e = d\Phi_e / dS \quad (20)$$

где E_e – энергетической освещенности или облученности (Вт/м²);

Φ_e – поток излучения (Вт);

S – единица площади (м²).

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

$$M_e = d\Phi_e / dS \quad (21)$$

где M_e – энергетической освещенности или облученности (Вт/м²);

Φ_e – поток излучения (Вт);

S – площадь поверхности источника (м²).

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

$$L_e = d^2\Phi_e / d\Omega dS \cos\theta \quad (22)$$

где, L_e – энергетическая яркость (Вт/ср·м²);

Φ_e – поток излучения (Вт);

S – площадь поверхности источника (м^2);

θ – угол между направлением излучения и нормалью к площадке.

Световой поток, Φ_v – это величина, образуемая от лучистого потока Φ_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 $\text{кд}/\text{м}^2$.

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

$$n = \Phi_v / P, \quad (23)$$

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

Задача по практическому занятию № 4

В светодиодном кристалле генерируется свет, при выходе из кристалла свет, лишь часть его может выйти из кристалла, за счёт разности двух сред – воздуха и материала полупроводника. Так как из законов оптики часть светового потока отражается (коэффициент отражения ρ), часть рассеивается (коэффициент рассеивания σ), часть поглощается (коэффициент поглощения α) и лишь часть проходит насквозь (коэффициент пропускания τ). Необходимо определить критический угол и долю вышедшего излучения из светодиодного кристалла GaN в воздух.

Дано:

Показатель преломления воздуха,

показатель преломления кристалла GaN ,

$P_{внутр}$ мощность оптического излучения внутри кристалла

Определить

Критический угол $\varphi_{кр}$,

долю оптической мощности вышедшей из кристалла $P_{внеш}$.

Решение:

По формулам:

$$\varphi_{кр} = \arcsin (n_2 / n_1),$$

$$P_{внеш} / P_{внутр} = (1/4) \times (n_2^2 / n_1^2)$$

Рассчитаем значения $\varphi_{кр}$, и $P_{внеш}$.

Ответ

Критический угол для GaN составляет $\varphi_{кр} = 23,6$ град., а доля вышедшего излучения в воздух $P_{внеш} = 4,18\%$.

Индивидуальное задание

№	n_1	n_2	$P_{внутр}$
1	1	1,1	2
2	2,1	1,1	1,5
3	1,5	1	3
4	1,7	1,5	1
5	1	2	2,5
6	1,3	1	2
7	1	1,3	3
8	1,1	1,7	2
9	2,2	1,5	1
10	3	2,5	1

Определить значение критического угол $\varphi_{кр}$ и доли вышедшего излучения в воздух $P_{внеш}$.

Практическое занятие № 5 «Светотехнические характеристики источников света»

Цель работы: научиться рассчитывать освещённость рабочего места.

Краткая теория

Освещённость определяется по формуле:

$$E = I / r^2, \quad (24)$$

где, I – силы света, кд;

r – расстояние от источника освещения до поверхности, м.

Сила бактерицидного излучения определяется по формуле:

$$I = \Phi / \Omega \quad (25)$$

где, Φ – световой поток, лм;

Ω – телесный (объёмный) угол.

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

$$\Omega = 2\pi(1 - \cos(((\phi \times \pi) / 180) / 2)) \quad (26)$$

Задача по практическому занятию № 5

Определить значение светового потока источника света, варианты в соответствии со списком группы:

№	Освещённость	Расстояние, м	Световой поток
1	300	0,1	
2	300	0,2	
3	300	0,3	
4	300	0,4	
5	300	0,5	
6	300	0,6	
7	300	0,7	
8	300	0,8	
9	300	0,9	
10	300	1,0	
11	500	0,1	
12	500	0,2	
13	500	0,3	
14	500	0,4	
15	500	0,5	
16	500	0,6	
17	500	0,7	
18	500	0,8	
19	500	0,9	
20	500	1,0	

Задание на самостоятельную работу № 1 «Загрязнения воздуха»

Краткая теория

В соответствии с Федеральным законом от 10.01.2002 № 7-ФЗ (ред. от 31.12.2017) «Об охране окружающей среды» к нормативам качества окружающей среды относятся:

– нормативы, установленные в соответствии с химическими показателями состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ, включая радиоактивные вещества;

– нормативы, установленные в соответствии с физическими показателями состояния окружающей среды, в том числе с показателями уровней радиоактивности и тепла;

– нормативы, установленные в соответствии с биологическими показателями состояния окружающей среды, в том числе видов и групп растений, животных и других организмов, используемых как индикаторы качества окружающей среды, а также нормативы предельно допустимых концентраций микроорганизмов;

– иные нормативы качества окружающей среды.

К компонентам окружающей природной среды относятся: земля, недра, почвы, поверхностные и подземные воды, атмосферный воздух, растительный, животный мир и иные организмы, а также озоновый слой атмосферы и околоземное космическое пространство, обеспечивающие в совокупности благоприятные условия для существования жизни на Земле.

Задание на самостоятельную работу № 1

Изучить современную научно-техническую, нормативную, методическую литературу по наиболее распространенным и опасным загрязнителям воздуха и подготовить доклады с презентациями:

- аэрозольные частицы вещества;
- углеводороды и другие летучие органические соединения;
- угарный газ;
- оксиды азота;
- оксиды серы (в основном диоксид);
- свинец и другие тяжёлые металлы;
- озон и другие фотохимические окислители;
- кислоты в основном серная и азотная.

Задание на самостоятельную работу № 2 «Загрязнения воды»

Краткая теория

Исключительная роль воды в жизни человека и всего живого на Земле обуславливает возрастающее внимание к изучению гидросферы и состоянию водных объектов. Общее количество природной воды на Земле составляет 1386 млн. куб. км., из них количество пресной воды – 35 млн. куб. км., т.е. около 2,5%. Объем потребления пресной воды в мире достигает 3900 млрд. куб. м/год. Около половины этого количества потребляется безвозвратно, а другая половина превращается в сточные воды.

Сточная вода – это вода, бывшая в бытовом, производственном или сельскохозяйственном употреблении, а также прошедшая через загрязненную территорию. В зависимости от условий образования сточные воды делятся на бытовые или хозяйственно-фекальные (БСВ), атмосферные (АСВ) и промышленные (ПСВ).

Хозяйственно-бытовые воды – это стоки душевых, прачечных, столовых, туалетов, от мытья полов и др. Они содержат примеси, из которых ~58% органических веществ и 42% минеральных.

Атмосферные воды образуются в результате выпадения атмосферных осадков и стекающие с территорий предприятий. Они загрязняются органическими и минеральными веществами.

Промышленные сточные воды – это жидкие отходы, которые возникают при добыче и переработке органического и неорганического сырья.

Сточные воды загрязнены различными веществами:

– Механическая группа загрязнений. Анализ сточных вод в лаборатории показывает, что в их составе по причине отходов производства или промышленного действия может содержаться большое количество металлических элементов и примесей, которые при попадании в грунтовые воды могут губительно сказываться на здоровье человека.

– Химическая группа загрязняющих веществ. Анализ сточных вод канализации показывает, что примеси и элементы химического характера могут попадать в воду в результате органических процессов или промышленных выборов. Из-за этого подземные воды могут содержать токсичные элементы и вредоносные вещества, которые при попадании в бытовую воду могут влиять на здоровое функционирование человеческого организма.

– Загрязнения группы биологических и бактериальных веществ. Такой тип патогенных элементов, как показывает лабораторный анализ сточных вод, может

проникать в жидкость и грунтовые воды в результате биологических процессов, разложения частиц бытового использования или при промышленных выбросах отходов.

– Загрязнение радиоактивными веществами. Анализ сточных вод предприятия показывает, что это наиболее губительный и опасный тип загрязнений, который может присутствовать в грунтовых или сточных водах по причине несанкционированного производства и промышленной деятельности. Такой тип загрязнений в очень редких случаях касается бытовых построек и жилых домов, однако его не стоит исключать в процессе проверки и аналитической экспертизы.

В зависимости от физического состояния фаз различают следующие жидкие неоднородные системы: суспензии, эмульсии и пены.

– Суспензия состоит из жидкости и взвешенных в ней твердых частиц. В зависимости от размеров частиц различают грубые суспензии с частицами размером > 100 мкм, тонкие (0,5-100 мкм) и мути (0,1-0,5 мкм). Промежуточное положение между суспензиями и истинными растворами занимают коллоидные растворы с размерами частиц менее 0,1 мкм.

– Эмульсия состоит из 2-х несмешивающихся или частично смешивающихся жидкостей, одна из которых распределена в другой в виде жидких капель.

– Пена – система, состоящая из жидкости и распределенных в ней пузырьков газа.

Задание на самостоятельную работу № 2

Изучить современную научно-техническую, нормативную, методическую литературу по наиболее распространенным и опасным загрязнителям воды и подготовить доклады с презентациями.

Задание на самостоятельную работу № 3 «Загрязнения почвы»

Краткая теория

Изучить современную научно-техническую, нормативную, методическую литературу по наиболее распространенным и опасным загрязнителям почвы и подготовить доклады с презентациями.

Почвы – естественный или измененный в результате хозяйственной и иной деятельности поверхностный слой земли, состоящий из минеральных и органических веществ, воды, воздуха, почвенных организмов и продуктов их жизнедеятельности, обладающий плодородием, структурой и свойствами, необходимыми для существования растений и животных, жизнеобеспечения и деятельности человека.

Состояние почв – совокупность показателей, характеризующих состав, строение и свойства почв.

Качество почв – совокупность свойств почв, определяющая характер и эффективность участия почв в обеспечении благоприятной среды для обитания человека, растений и животных.

Плодородный слой почвы – верхний слой почвы, обладающий благоприятными для роста растений свойствами.

Редкие почвы – почвы, сформировавшиеся в уникальных природно-климатических условиях и имеющие особое природоохранное, научное и иное ценное значение.

Почвы, находящиеся под угрозой исчезновения, – почвы, необратимо утрачивающие свои свойства или исчезающие как естественные природные объекты.

Задание на самостоятельную работу № 3

Изучить современную научно-техническую, нормативную, методическую литературу по наиболее распространенным и опасным загрязнителям почвы и подготовить доклады с презентациями.

**Задание на самостоятельную работу № 4 «Приборы и датчики
экологического контроля»**

Изучить современную научно-техническую, нормативную, методическую литературу и подготовить доклады с презентациями по следующим темам:

- 1 Метрологические характеристики и погрешности измерений.
- 2 Термометры расширения.
- 3 Термоэлектрические термометры.
- 4 Термометры сопротивления.
- 5 Оптическая пирометрия.
- 6 Оптические датчики.
- 7 Волоконная оптика.
- 8 Тепловизоры.
- 9 Датчики деформации.
- 10 Электрохимические датчики
- 11 Датчики влажности воздуха.
- 12 Датчики газового состава.
- 13 Пьезоэлектрические датчики.
- 14 Барометры.
- 15 Приборы для измерения скорости воздушного потока.
- 16 Приборы и методы для измерения спектра излучения, цветовой температуры источника света и его координат цветности.
- 17 Приборы измерения радиационного фона (дозиметры).
- 18 Приборы для измерения расстояния оптическим методом.
- 19 Приборы и методы измерения энергетических и световых величин источников света.
- 20 Приборы для спектрального анализа состава вещества.
- 21 Приборы для измерения вибрации.
- 22 Приборы для измерения шума.
- 23 Методы измерения расхода и количества жидкостей и газов.
24. Вакуумметры.
- 25 Приборы для измерения запылённости.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Горшков М.В. Экологический мониторинг / Учебное пособие. – Владивосток: Изд-во ТГЭУ, 2010. – 313 с. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://ekolog.org/books/52/> (дата обращения: 26.02.2022).

2. ГОСТ Р 8.896-2015 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Анализаторы размеров частиц лазерные. Методика поверки. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200126409> (дата обращения: 26.02.2022).

3. ГОСТ Р ИСО 28439-2015 Воздух рабочей зоны. Характеристика ультрадисперсных аэрозолей и наноаэрозолей. Определение распределения частиц по размерам и счетной концентрации частиц с применением систем анализа дифференциальной электрической подвижности. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200124962> (дата обращения: 26.02.2022).

4. ПНД Ф 13.1:2:3.25-99 Количественный химический анализ атмосферного воздуха и выбросов в атмосферу. Методика выполнения измерений массовых концентраций предельных углеводородов С(1)-С(10) (суммарно, в пересчете на углерод), непредельных углеводородов С(2)-С(5) (суммарно, в пересчете на углерод) и ароматических углеводородов (бензола, толуола, этилбензола, ксилолов, стирола) при их совместном присутствии в атмосферном воздухе, воздухе рабочей зоны и промышленных выбросах методом газовой хроматографии (с Изменениями). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200078489> (дата обращения: 26.02.2022).

5. ГОСТ Р ИСО 16000-5-2009 Воздух замкнутых помещений. Часть 5. Отбор проб летучих органических соединений (ЛОС). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200076563/> (дата обращения: 26.02.2022).

6. Энергомир. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://energomir.biz/gazosnabzhenie/gazovye-pribory/detektor-ugarnogo-gaza.html> (дата обращения: 26.02.2022).

7. МУК 4.1.2473-09 Измерение массовых концентраций оксида и диоксида азота в воздухе рабочей зоны по реакции с реактивом Грисса-Илосвая методом фотометрии. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200074137> (дата обращения: 26.02.2022).

8. ГОСТ Р 52733-2007. Атмосферный воздух. Определение диоксида серы. Ультрафиолетовый флуоресцентный метод. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200051444> (дата обращения: 26.02.2022).

9. Познавательный ресурс "Узнай-ка!". [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://yznaika.com/notes/197-metalli-zagraznitleli-referat> (дата обращения: 26.02.2022).

10. ГОСТ Р ИСО 10849-2006. Выбросы стационарных источников. Определение массовой концентрации оксидов азота. Характеристики автоматических измерительных систем в условиях применения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200044733/> (дата обращения: 26.02.2022).

11. ООО «СЕНС-ОПТИК». [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://ecmoptec.ru/device/cat_device_id/188, дата обращения: 09.06.2018. 12. МИА «Россия сегодня». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://ria.ru/eco/20091102/191633166.html> (дата обращения: 26.02.2022).

13. ГОСТ Р ИСО 21438-1-2011 Воздух рабочей зоны. Определение неорганических кислот методом ионной хроматографии. Часть 1. Нелетучие кислоты (серная и фосфорная). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200088530> (дата обращения: 26.02.2022).

14. МУК 4.1.133-96 Методические указания по измерению концентраций кальция стеариновокислого в воздухе рабочей зоны методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200036655> (дата обращения: 26.02.2022).

15. ГОСТ Р 51232-98 Вода питьевая. Общие требования к организации и методам контроля качества. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200003120> (дата обращения: 26.02.2022).

16. «Модельный закон об охране почв» Принят на двадцать девятом пленарном заседании Межпарламентской Ассамблеи государств - участников СНГ (постановление N 29-16 от 31 октября 2007 года). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/902092612> (дата обращения: 26.02.2022).

17. № 172-ФЗ от 12.12.2004 г. «О переводе земель и земельных участков из одной категории в другую» (с изменениями на 29 июля 2017 года). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901918785/> (дата обращения: 26.02.2022).

18. СанПиН 2.1.7.1287–03 «Санитарно-эпидемиологические требования к качеству почвы». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/901859456> (дата обращения: 26.02.2022).

19. АО ИД «Комсомольская правда». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.kp.ru/guide/analiz-pochvy.html> (дата обращения: 26.02.2022).

20. ГОСТ Р 56157-2014 Почва. Методики (методы) анализа состава и свойств проб почв. Общие требования к разработке. [Электронный ресурс] – Режим доступа:

<http://docs.cntd.ru/document/1200113844> (дата обращения: 26.02.2022).

21. ЗАО НПО "Техноком". [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.tehno.com/product.phtml?uid=B00120047233CB> (дата обращения: 26.02.2022).

22. ООО "Техоборудование". [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://techob.ru/katalog/katalog-priborov/viskozimetrii.html> (дата обращения: 26.02.2022).

23. Chemistrynews.ru. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://chemistrynews.ru/analchem/gravimetrii.aspx.htm> (дата обращения: 26.02.2022).

24. А.А. Вихарев, С.А. Зуйкова, Н.А. Чемерис, Н.Г. Домина. Физико-химические методы анализа. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.chemastu.ru/chair/study/PCMA/r1_4_1.htm (дата обращения: 26.02.2022).

25. Электронный справочник: О том, как Chemport.ru. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.chemport.ru/data/chemipedia/article_3779.html (дата обращения: 26.02.2022).

26. ХиМиК.ру. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/2/4164.html> (дата обращения: 26.02.2022).

27. Фармакопее.рф. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://pharmacopoeia.ru/ofs-1-2-1-1-0006-15-fluorimetriya/> (дата обращения: 26.02.2022).

28. Атомно-абсорбционная спектрометрия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.eurasiancommission.org/ru/act/txnreg/deptexreg/LS1/Documents/2.2.23%20Атомно-абсорбционная%20спектрометрия.pdf> (дата обращения: 26.02.2022).

29. Лазерный Портал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.laserportal.ru/content_167 (дата обращения: 26.02.2022).

30. Файловый архив студентов. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://studfiles.net/preview/3741536/page:4/> (дата обращения: 26.02.2022).

31. Горной энциклопедии. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.mining-enc.ru/x/xromatografiya/> (дата обращения: 26.02.2022).

32. Лазерный Портал. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.laserportal.ru/content_110 (дата обращения: 26.02.2022).

33. Солдаткин, В. С. Инструментальный контроль параметров среды обитания: Учебное пособие [Электронный ресурс] / В. С. Солдаткин, Г. В. Смирнов, В. И. Туев – Томск: ТУСУР, 2018. – 100 с. – Режим доступа: <https://edu.tusur.ru/publications/7203> (дата обращения: 26.02.2022).

34. ООО НТЦ «Эксперт». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.ntcexpert.ru/md> (дата обращения: 26.02.2022).

35. Лекция 8 Электрические методы неразрушающего контроля. [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://www.google.ru/search?newwindow=1&client=opera&ei=PE0bW_nGCIXpsQGb16OwBw&q=Электрический+неразрушающий+контроль&oq=Электрический+неразрушающий+контроль&gs_l=psyab.3..0.101547.101547.0.102823.1.1.0.0.0.107.107.0j1.1.0....0...1c.1.64.psyab..0.1.107....0.zLwbEcXmORk (дата обращения: 26.02.2022).

36. ООО «Контроль Измерение Диагностика» [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.defectoscop.ru/index.php?show_aux_page=62, дата обращения: 09.06.2018.

37. ООО «Олбест». [Электронный ресурс] – Режим доступа: https://otherreferats.allbest.ru/manufacture/00215341_0.html (дата обращения: 26.02.2022).

38. ООО «ТТМ». [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.infraredtraining.ru/ndt/> (дата обращения: 26.02.2022).

39. Speranza. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://speranza.ua/news/vizualno-opticheskij-metod-kontrolya/> (дата обращения: 26.02.2022).

40. НПФ Шторм. Сварка и резка материалов: Учеб. пособие / М.Д. Банов, Ю.В. Казаков, М.Г. Козулин и др. - М.: Издательский центр Академия. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.svarkainfo.ru/rus/lib/quolity/radiation/> (дата обращения: 26.02.2022).

41. Welding.su. [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.welding.su/library/nerkontorl/nerkontorl_178.html, дата обращения: 09.06.2018.

42. ГОСТ 18442-80 Контроль неразрушающий. Капиллярные методы. Общие требования (с Изменениями N 1, 2). [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200004648> (дата обращения: 26.02.2022).

43. ГОСТ 28369-89 Контроль неразрушающий. Облучатели ультрафиолетовые. Общие технические требования и методы испытаний. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200023574> (дата обращения: 26.02.2022).

44. ГОСТ 24522-80 Контроль неразрушающий капиллярный. Термины и определения. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200009500/> (дата обращения: 26.02.2022).

45. Неразрушающий контроль. Кн. I. Общие вопросы. Контроль проникающими веществами. Гурвич, Ермолов, Сажин. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.techeiscatel.ru/index.php/library/lecture/100-metody-kontrolya-pronikayushchimiveshchestvami-kapillyarnyj-metod> (дата обращения: 26.02.2022).