

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  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2015 г.

**ПРИБОРЫ И ДАТЧИКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ**

Методические указания по практической работе студентов

Разработали:  
Заведующий каф. РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ В.И. Туев

Профессор каф. РЭТЭМ  
\_\_\_\_\_ Г.В. Смирнов

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

Томск 2015

Смирнов Г.В., Солдаткин В.С., Туев В.И. Приборы и датчики экологического контроля: Методические указания по практической работе студентов. – Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2015. – 12 с.

Настоящие методические указания по практической работе студентов составлено с учетом требований федеральных Государственных образовательных стандартов высшего образования (ФГОС ВО) по направлениям подготовки 05.03.06 «Экология и природопользование» и 20.03.02 «Техносферная безопасность». Методические указания предназначены для студентов, изучающих специальную дисциплину «Приборы и датчики экологического контроля» и содержат необходимую информацию, используемую для проведения практических занятий.

## Задача №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:

$$\Delta_{\text{и}} = \Delta G = G_u - G,$$

Определим абсолютные погрешности показаний в точках шкалы амперметра:

+0,1 А – +0,3 А – -0,1 А – -0,2 А – -0,3 А – -0,1 А – -0,2 А – +0,1 А – +0,2 А,

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

Относительная погрешность по формуле:

$$\delta = \pm \Delta G / G_u \cdot 100\%,$$

10% – 15% – 3% – 5% – 6% – 2,5% – 6,7% – 5% – 20%,

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

Приведённая погрешность определяется по формуле:

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

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

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

*Ответ*

абсолютная погрешность амперметра  $\Delta_{\text{и}} = 0,3$  А,

относительная погрешность показаний  $\delta = 20\%$ ,

приведённая погрешность  $\gamma = 6\%$ .

### Индивидуальное задание

№	1 А	2 А	3 А	4 А	5 А
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  $\Delta_{и} = 0,3 \text{ А}$ ,

относительную погрешность показаний  $\delta = 20\%$ ,

приведённую погрешность  $\gamma = 6\%$ .

## Задача №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 нуль принять температуру замерзания воды и градус Цельсия (°С) равен одному Кельвина:

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

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

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

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

Шкала Фаренгейта получается смещением нуля абсолютной шкалы Рэнкина. Единица измерения – градус Фаренгейта (°F)-равна одному градусу Рэнкина:

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

Формулы перехода из одной шкалы к другой имеют вид:

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

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

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

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

*Ответ*

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

## 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

Записать значение температуры в Кельвинах и Фаренгейтах.

### Задача №3

Нагретый электронный элемент потребляет постоянное напряжение  $U_{np} = 3,2$  В при прямом токе  $I_{np} = 20$  мА, расположен на медной пластине размерами  $1000 \times 1000 \times 100$  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:*

$$U_{np} = 3,2 \text{ В,}$$

$$I_{np} = 20 \text{ мА,}$$

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

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  $\delta$  – 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 $1000 \times 1000 \times 100 \text{ мкм}^3$									
Материал пластины	медь	серебро	золото	алюминий	алмаз	нитрид алюминия	кремний	платина	олово	Карбид кремния

Определить температуру электронного элемента.

#### Задача №4

В светодиоде 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  $\rho$ ), часть рассеивается (коэффициент рассеивания  $\sigma$ ), часть поглощается (коэффициент поглощения  $\alpha$ ) и лишь часть проходит насквозь (коэффициент пропускания  $\tau$ ). Необходимо определить критический угол и долю вышедшего излучения из светодиода 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  $P_{внеш}$ .

### Задача №5

Рассчитать освещённость на круглом столе диаметром 1,5 м, если точечный источник света висит на высоте 1 м. и имеет световой поток 1200 лм.

*Дано:*

Световой поток  $\Phi = 1200$  лм,

высота  $h = 1$  м,

диаметр стола  $D = 1,5$  м.

*Определить*

Силу света источника  $I_v$  - ?

Освещённость стола  $E_v$  - ?

*Решение:*

Сила света определяется по формуле

$$I_v = \Phi / \Omega,$$

$\Omega$  - 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.

Для определения телесного угла соединим точку  $O$ , где находится точечный источник света, с точкой  $A$  края стола. Перемещая прямую линию  $OA$  вокруг неподвижной точки  $O$ , получим прямой конус. Основанием конуса является круг равный диаметру стола, высота проходит через центр основания равна расстоянию от источника света до центра стола. Поместим вершину  $O$  полученного конуса в центр сферы радиусом  $R$ . Пересекаясь со сферой, боковая поверхность конуса вырезает на ней сегментную поверхность  $ABD$ . Площадь сегментной поверхности равна произведению длины окружности большого круга на высоту сегмента, то есть  $S = 2\pi Rh$  где  $h$  – высота сегмента, равная длине отрезка  $BC$ .

$$\Omega = S/R^2 = 2\pi h / R,$$

$$R = (H^2 + (D/2)^2)^{1/2} = (1 \text{ м}^2 + 0,75^2 \text{ м}^2) = 1,25 \text{ м}.$$

$$h = R - H = 0,25 \text{ м},$$

$$\Omega = 2\pi h / R = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,25 \text{ м} / 1,25 \text{ м} = 1,256 \text{ ср.}$$

$$I_v = \Phi / \Omega = 1200 \text{ лм} / 1,256 \text{ ср.} = 955 \text{ кд.}$$

$$E_v = \Phi / S = 4\Phi/\pi D,$$

где  $S$  – площадь стола:  $S = 2\pi D^2 / 4,$

$$E_v = 4 \cdot 1200 \text{ лм} / 3,14 \cdot 1,5^2 \text{ м}^2 = / 7,065 = 679,4 \text{ лк.}$$

*Ответ*

Сила света источника  $I_v = 955$  кд, освещённость стола  $E_v = 679,4$  лк.

### Индивидуальное задание

№	Световой поток $\Phi$ , лм	Высота $h$ , м	Диаметр стола $D$ , м
1	1000	1	2
2	500	1	1,5
3	200	0,5	3
4	300	1,5	1
5	1500	2	2,5
6	2000	5	2
7	700	1,3	3
8	1300	3	2
9	400	1	1
10	1200	2,5	1

*Определить:*

Силу света источника  $I_v$  - ?

Освещённость стола  $E_v$  - ?

.

## 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. 13. Виглеб Г. Датчики. Устройство и применение: Пер. с нем. – М.: Мир, 1989. – 196с.
9. Виноградов Ю.А. Радиолобителю конструктору: Си Би связь, дозиметрия, ИК техника, электронные приборы, средства связи / М.:«ДМК». – 2006. – 240 с.