

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учрежде-  
ние высшего профессионального образования

«ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ СИСТЕМ  
УПРАВЛЕНИЯ И РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ» (ТУСУР)

УТВЕРЖДАЮ  
Зав. кафедрой КИПР, проф.  
\_\_\_\_\_ В.Н.Татаринов  
" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2012 г.

**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ  
ПО ПРАКТИЧЕСКИМ ЗАНЯТИЯМ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕН-  
ТОВ**

По дисциплине Тепломассообмен (по выбору)  
Для специальности 210201 – Проектирование и технология радио-  
электронных средств  
Факультет радиоконструкторский РКФ)  
Профилирующая кафедра \_ Конструирования и производства радио-  
аппаратуры (КИПР)

Курс – 3  
Семестр – 7

Учебный план набора 2008 г. и последующих лет

Распределение учебного времени

	Всего часов
Лекции	18 часов
Практические занятия	18 часов
Всего ауд. занятий	36 часов
Самостоятельная работа	39 часов
Общая трудоёмкость	75 часов
Зачёт	7 семестр семестр

Разработал:

Доцент каф. КИПР

В.Г. Козлов

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ, ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ.....</b>	<b>3</b>
<b>2 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ. ЛЕКЦИИ (18 Ч; САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА 18Ч.)</b>	<b>ОШИБКА! ЗАКЛАДКА НЕ ОПРЕДЕЛЕНА</b>
<b>3 УЧЕБНО - МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ И САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ НА ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЯХ.....</b>	<b>4</b>
3.1 Основная литература: .....	4
3.2 Дополнительная литература.....	5
3.3 Перечень методических указаний.....	5
3.4. Самостоятельная работа студентов на практических занятиях: седьмой (осенний) семестр 9 занятий – 18ч, самостоятельная работа 21 ч.....	5
<b>4 СВОДНЫЕ ДАННЫЕ ПО САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЕ СТУДЕНТОВ ПО ДИСЦИПЛИНЕ “ ТЕПЛОМАССОБМЕН ”.....</b>	<b>6</b>
<b>5 РЕЙТИНГОВАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА АУДИТОРНОЙ И САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТ.....</b>	<b>7</b>
<b>6 ЗАДАЧИ И ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ ЗНАНИЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ.....</b>	<b>9</b>
6.1. Задачи для контроля остаточных знаний в результате самостоятельной работы студентов.....	9
6.2 Вопросы для контроля остаточных знаний в результате самостоятельной работы студентов .....	14

## 1. Цели и задачи дисциплины, её место в учебном процессе.

### 1.1. Цели преподавания дисциплины

Целями преподавания дисциплины являются ознакомление студентов с основными положениями тепло и массообмена, с методами расчета и экспериментальной проверки тепловых режимов РЭС, а также с методами конструктивного обеспечения этих режимов на основе системного подхода.

### 1.2. Задачи изучения дисциплины:

1.2.1 В результате изучения дисциплины студент должен иметь представление:

- об основных задачах и проблемах теории тепломассообмена в РЭС (ТМО РЭС);
- о методах расчета тепловых и влажностных режимов в сложных конструкциях.

### 1.2.2 Студент должен знать:

- принципы построения систем обеспечения тепловых и влажностных режимов РЭС;
- методы измерения температуры и влажности;
- основные физические законы переноса тепла и влаги.

### 1.2.3 Студент должен уметь:

- применять основные методы расчета тепловых режимов конструкций РЭА на этапе ее проектирования, в том числе, используя ЭВМ;
- составлять математические модели процесса распределения тепла в аппаратуре для различных условий эксплуатации;
- правильно подготавливать необходимые исходные данные для расчета температурных полей с помощью ЭВМ;
- оценивать и выбирать способы обеспечения контроля требуемого температурного и влажностного режимов РЭС;

1.3. Перечень дисциплин и разделов (тем), необходимых студентам для изучения данной дисциплины.

Данная дисциплина является общей профессиональной дисциплиной по выбору (ОПДВ.1) в цикле рабочего учебного плана. Материал рассматриваемой дисциплины основывается на знаниях, полученных студентами при изучении дисциплин: «Физика» (темы: механизмы переноса тепла, цикл Карно, температура, теплоемкость, фазовые превращения), «Математика» (дифференциальное счисление), «Информатика» (алгоритмизация и программирование), «Физические основы микроэлектроники» (законы диффузии), «Химия» (коррозия), «Материаловедение и материалы электронных средств» (теплофизические свойства, влагостойкость и коррозионная стойкость материалов, их влагозащитные свойства), «Основы проектирования ЭС» (влагозащита и герметизация, математические модели объектов проектирования). Знания и умения, полученные при изучении рассматриваемой дисциплины, могут быть использованы при выполнении курсовых и дипломных проектов по различной тематике.

2. Содержание дисциплины. Лекции (18 ч; самостоятельная работа 18ч.)

2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.

2. Содержание дисциплины.

2.1. Наименование тем, их содержание, объём в часах лекционных занятий.

2.1.1 Тема 1. Общая характеристика тепломассообмена (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.2 Тема 2. Теплопроводность (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.3 Тема 3. Конвективный теплообмен (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.4 Тема 4. Теплообмен излучением (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.5 Тема 5. Сложный теплообмен (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.6 Тема 6. Влагообмен (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.7 Тема 7. Нестационарные процессы тепловлагообмена (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.8 Тема 8. Приближенные методы исследования тепловлагообмена (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

2.1.9 Тема 9. Специальные методы обеспечения тепловых и влажностных режимов РЭС (2 ч., самостоятельная работа 2 ч.).

3. Учебно-методические материалы по дисциплине и самостоятельная работа студентов на практических занятиях

3.1. Основная литература.

3.1.1. Тепломассообмен: Учебно-методическое пособие для студентов специальности 210201 Проектирование и технология радиоэлектронных средств / Сост. Чернышев А.А.- Томск: Томский гос. ун-т систем управления и радиоэлектроники, кафедра КИПР, 2012. - 40 с. <http://www.tusur.ru/export/sites/ru.tusur.new/ru/faculties/rkf/chairs/kipr/program/umr-teplomassoobmen.pdf>.

3.1.2. Государственный экзамен по специальности 210201 – «Проектирование и технология радиоэлектронных средств». Методические материалы для подготовки студентов к сдаче теоретической части Государственного экзамена / В.Г.Козлов, Д.В.Озёркин, А.С.Шостак и др.; Под редакцией Д.В.Озёркина. Томск: Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, 2012. – 194 с. <http://edu.tusur.ru/training/publications/1225>.

3.2. Дополнительная литература

3.2.1. Дульнев Г.Н. Тепломассообмен в радиоэлектронной аппаратуре. – М.: Высш. шк., 1984. – 247 с. Экземпляры всего: 127, аул (117), анл (4), счз1 (2), счз5 (4).

3.2.2. Роткоп Л.Л., Спокойный Ю.Е. Обеспечение тепловых режимов при конструировании радиоэлектронной аппаратуры. – М.: Советское радио, 1976. – 232 с. Экземпляры всего: 26, анл (18), аул (2), счз1 (4), счз5 (2).

3.2.3. Дульнев Г.Н., Тарновский Н.Н. Тепловые режимы электронной аппаратуры. – М.: Энергия, 1971. – 248 с.: ил. Экземпляры всего: 13, АНЛ (1), аул (7), счз1 (2), счз5 (3).

3.2.4. Дульнев Г.Н. Семяшкин Э.М. Теплообмен в радиоэлектронных аппаратах. – М.: Энергия, 1968. Экземпляры всего: 8, анл (5), счз1 (3)

3.2.5. Спокойный Ю.Е., Сибиряков В. В. Тепломассообмен в радиоэлектронной аппаратуре: Лабораторный практикум: Для радиотехн. спец. Вузов. Киев ; Одесса : Вища школа, 1988. - 223 с. Экземпляры всего: 6, анл (2), АУЛ (2), счз5 (1), счз1 (1).

3.2.6. Бацула А. П. Конструирование радиоэлектронных систем : учебное пособие.- Томск : ТМЦДО, 2002. - 231 с. Экземпляры всего: 11, счз1 (3), счз5 (2), аул (6).

### 3.3. Перечень методических указаний

3.3.1. Основы проектирования электронных средств. Методическое пособие / Козлов В.Г., Кобрин Ю.П., Кондаков А.К.- Томск, ТУСУР, 2006,- 141с. (<http://edu.tusur.ru/training/publications/1048>).

3.3.2. Методические указания по практическим занятиям и самостоятельной работе студентов. По дисциплине «Тепломассообмен» для специальности 210201 / Козлов В. Г. - Томск, ТУСУР, – 2012. 15 с. [//edu.tusur.ru/training/publications/](http://edu.tusur.ru/training/publications/) .

3.4. Самостоятельная работа студентов на практических занятиях: седьмой (осенний) семестр 9 занятий – 18ч, самостоятельная работа 21 ч.

#### 3.4.1 Цель практических занятий и особенности их проведения

Цель и задача проведения практических занятий - практическое освоение методов расчёта теплопроводности прослоек, теплообмена конвекцией и излучением, расчёта температуры поверхностей и тепловых режимов блоков РЭА, расчёта тепловой характеристики радиаторов и Оценочный расчёт толщины влагозащитных покрытий оценочного расчёта толщины влагозащитных покрытий. Практические (семинарские) занятия направлены на закрепление и расширение знаний, полученных на лекциях и при изучении рекомендованной литературы согласно рабочей программе дисциплины. Предусмотрены практические занятия с решением задач. В ходе практических занятий проводится оценивание теоретических знаний и умений студентов по итогам решения задач. Практические (семинарские) занятия проводятся в увязке с рассмотрением соответствующих вопросов на лекциях.

Темы практических занятий с решением задач (9 занятий по 2 часа, самостоятельная работа 21 час).

1. Теплопроводность твердых прослоек различной формы (2 часа, самостоятельная работа 2 час).

2. Конвективный теплообмен (2 часа, самостоятельная работа 2 час).

3. Теплообмен газовых прослоек различных форм (2 часа, самостоятельная работа 2 час).

4. Теплообмен излучением. Сложный теплообмен (2 часа, самостоятельная работа 2 час).

5. Расчёт температуры поверхности коэффициентным методом (2 часа, самостоятельная работа 2 час).

6. Расчёт температуры поверхности методом последовательных приближений (2 часа, самостоятельная работа 3 час).

7. Расчёт теплового режима блока (2 часа, самостоятельная работа 3 час).

8. Расчёт тепловой характеристики радиаторов сложной формы (2 часа, самостоятельная работа 3 час).

9. Оценочный расчёт толщины влагозащитных покрытий (2 часа, самостоятельная работа 2 час).

Занятия с использованием задач из источника 3.1.1. основной литературы, 3.2.1-3.2.4. дополнительной литературы и методических указаний 3.3.1.

Одну часть из предложенных задач студенты решают на занятиях, а другую часть выдаётся им для самостоятельной работы в виде индивидуального домашнего задания. Опрос и проверка остаточных знаний по вопросам проводятся как во время практических занятий, так и во время лекций.

4. Сводные данные по самостоятельной работе студентов по дисциплине “Тепломассообмен”

Для успешного усвоения дисциплины студент должен систематически изучать лекционный материал и выполнять практические задания и активно работать на практических занятиях. Источники из перечня обязательной, дополнительной и методической литературы содержат необходимый объём материалов для освоения дисциплины.

Для систематического изучения лекционного материала студенту выделяется 18 часов самостоятельной работы.

Для успешной работы на практических (семинарских) занятиях студенту выделяется 21 час самостоятельной работы. Таблица 4.1 содержит сводные данные по самостоятельной работе студентов.

Таблица 4.1 Сводные данные по СРС

№ п/п	Наименование работы	Кол-во часов	Форма контроля
1.	Проработка лекционного материала	18	Опрос для проверки остаточных знаний на лекциях
2.	Подготовка к практическим занятиям, семинарам	21	Опрос и проверка остаточных знаний по вопросам на практических занятиях
	Всего часов самостоятельной работы	39	

5. Рейтинговая система оценки качества аудиторной и самостоятельной работ

По дисциплине «Тепломассообмен» устанавливается рейтинговая система учета и контроля учебной деятельности студентов. Распределение баллов в течение семестра приведено в таблице 5.1.

Оценка текущих знаний студентов определяется в соответствии с «Положением о порядке использования рейтинговой системы для оценки успеваемости студентов» (приказ ректора от 25.02.2010 № 1902).

Максимальный объем рейтинговой оценки знаний студентов по данной дисциплине составляет 100 баллов.

Студенты, набравшие 60 баллов и более, автоматически получают зачет; набравшие менее 60 баллов, для получения зачета проходят отдельное собеседование с преподавателем по темам дисциплины.

Таблица 5.1 - Балльные оценки для элементов контроля знаний (зачет).

Элементы учебной деятельности	Максимальный балл на 1 КТ с начала семестра	Максимальный балл за период между 1КТ и 2КТ	Максимальный балл за период между 2КТ и на конец семестра	Всего за семестр
Посещение занятий	16	14	12	42
Выполнение практических занятий, защита результатов и проверка остаточных знаний по вопросам	16	17	17	50
Компонент своевременности	2	3	3	8
Итого максимум за период:	34	34	32	100
Сдача зачета				
Нарастающим итогом	34	68	100	100

Пересчет баллов в оценки традиционную и международную за контрольные точки осуществляется согласно положению о рейтинговой системе и приведен в таблицах 5.2., 5.3.

Таблица 5.2 - Пересчет баллов в оценки за контрольные точки

Баллы на дату контрольной точки	Оценка
≥ 90 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	5
От 70% до 89% от максимальной суммы баллов на дату КТ	4
От 60% до 69% от максимальной суммы баллов на дату КТ	3
< 60 % от максимальной суммы баллов на дату КТ	2

Внутрисеместровая аттестация за КТ-1 и КТ-2 производится согласно следующей рейтинговой раскладке:

Оценка за КТ-1	Оценка за КТ-2
«ОТЛ» 29...34 баллов	«ОТЛ» 57...68 баллов
«ХОР» 21...28 баллов	«ХОР» 45...56 баллов
«УДОВ» 13...16 баллов	«УДОВ» 34...44 баллов
«НЕУД» менее 13 баллов	«НЕУД» менее 34 баллов

Таблица 5.3 – Пересчет суммы баллов в традиционную и международную оценку

Оценка (ГОС)	Итоговая сумма баллов	Оценка (ECTS)
5 (отлично) (зачтено)	90 - 100	A (отлично)
4 (хорошо) (зачтено)	85 – 89	B (очень хорошо)
	75 – 84	C (хорошо)
	70 - 74	D (удовлетворительно)
3 (удовлетворительно) (зачтено)	65 – 69	E (посредственно)
	60 - 64	
2 (неудовлетворительно), (не зачтено)	Ниже 60 баллов	F (неудовлетворительно)

Бальная оценка выполнения практических занятий по дисциплине «Тепломассообмен» в течение семестра приведена в таблице 5.4.



Таблица 5.4 - Бальная оценка выполнения практических занятий

№ зан.	Тема практических занятий	Количество баллов
1	Теплопроводность твердых прослоек различной формы	5
2	Конвективный теплообмен	5
3	Теплообмен газовых прослоек различных форм	5
4	Теплообмен излучением. Сложный теплообмен	5
5	Расчёт температуры поверхности коэффициентным методом	5
6	Расчёт температуры поверхности методом последовательных приближений	10
7	Расчёт теплового режима блока	5
8	Расчёт тепловой характеристики радиаторов сложной формы	5
9	Оценочный расчёт толщины влагозащитных покрытий	5
	Всего баллов	50

Согласно действующему положению о рейтинговой системе текущая посещаемость и рейтинговые баллы фиксируются в групповом журнале преподавателя. В контрольные точки семестра текущий рейтинг по дисциплине фиксируется в ведомости текущей успеваемости, передаваемой в деканат.

6 Задачи и вопросы для контроля остаточных знаний в результате самостоятельной работы студентов

6.1. Задачи для контроля остаточных знаний в результате самостоятельной работы студентов

В разделе приведены различные типичные задачи тепломассообмена, взятые из разных источников, в которых заменены численные значения исходных данных: температуры поверхностей, температуры окружающей среды, атмосферного давления, рассеиваемых мощностей, размеров тел, степеней черноты поверхностей, токов, напряжений и т. д. Задачи приведены для контроля остаточных знаний в результате самостоятельной работы студентов. Поэтому в отдельных случаях со студента преподаватель может требовать лишь пояснения лишь хода решения задачи, не прибегая к вычислениям.

Задача 6.1. Транзистор КТ912Е закреплен на радиаторе винтовым соединением. Определить температуру кристалла при токе коллектора 0,8 А и

напряжении коллектор-эмиттер 25 В, если радиатор нагревается до 45 градусов Цельсия.

Задача 6.2. Кристалл полупроводникового прибора с размерами основания  $0,5 \cdot 2 \text{ мм}^2$  размещен на диэлектрической подложке с коэффициентом теплопроводности  $15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ . Толщина подложки 1 мм, Максимально допустимая температура кристалла 125 градусов Цельсия. Определить допустимую мощность данного полупроводникового прибора, если температура корпуса 52 градусов Цельсия,

Задача 6.3. Определить толщину теплоизоляционной плоской прокладки из листового асбеста, если удельный тепловой поток достигает  $1200 \text{ Вт/м}^2$ , а температура поверхности прибора 250 градусов Цельсия. Температура внешней поверхности теплоизолятора не должна превышать 70 градусов Цельсия, Теплопроводность асбеста изменяется по закону  $\lambda = 0,1(1+0,005t) \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ .

Задача 6.4. Определить конвективный коэффициент теплоотдачи вертикально ориентированной пластины высотой 50 см. Средняя температура плоскости 70 градусов Цельсия, а температура среды 30 градусов Цельсия, Конвекция естественная.

Задача 6.5. Найти мощность, отводимую от вертикально ориентированного диска диаметром 120 мм, если средняя температура диска 100 градусов Цельсия, среды 50 градусов Цельсия, давление воздуха  $H=40 \text{ кПа}$ , степень черноты поверхности 0,92.

Задача 6.6. Среднеповерхностная температура кожуха радиоэлектронного аппарата  $t_k = 45$  градусов Цельсия, Размеры радиоэлектронного аппарата  $L1 \cdot L2 \cdot L3 = 0,4 \cdot 0,2 \cdot 1 \text{ м}^3$ , степень черноты поверхности кожуха  $\varepsilon = 0,9$ , температура окружающей среды  $t_c = 20$  градусов Цельсия. Атмосферное давление  $H=60 \text{ кПа}$  Рассчитайте мощность  $P$ , рассеиваемую радиоэлектронным аппаратом.

Задача 6.7. Резистор типа МОН-1 при температуре окружающей среды  $t_c = 70$  градусов Цельсия рассеивает номинальную мощность. Рассчитайте допустимую мощность, которую может рассеять резистор, если на него одеть изоляционную трубку толщиной  $\delta = 1 \text{ мм}$ . Коэффициент теплопроводности материала изоляции  $\lambda = 0,15 \text{ Вт/м} \cdot \text{К}$ , Степень черноты поверхности  $\varepsilon = 0,92$ . Тепловые сопротивления провод-среда и изоляция-среда принять равными. Мощностью, рассеиваемой выводами, пренебречь.

Задача 6.8. Полупроводниковый прибор типа КТ805 установлен в центре прямоугольной металлической пластины размерами  $0,1 \cdot 0,2 \text{ м}^2$ . Мощность, рассеиваемая полупроводниковым прибором  $P = 7 \text{ Вт}$  при темпе-

ратуре окружающей среды  $t_c = 20$  градусов Цельсия. Тепловое сопротивление переход-корпус полупроводникового прибора  $R_{нк} = 3,5$  К/Вт, тепловое сопротивление корпус полупроводникового прибора-пластина  $R_{кп} = 0,3$  К/Вт, температура окружающей среды 20 градусов Цельсия, степень черноты поверхности  $\varepsilon = 0,9$ . Толщина пластины  $\delta = 3$  мм. Коэффициент теплопроводности материала пластины  $\lambda = 160$  Вт/м·К. Рассчитайте температуру  $p$ - $n$ -перехода при атмосферном давлении  $H = 50$  кПа. Мощностью, рассеиваемой в среду непосредственно корпусом полупроводникового прибора, пренебречь.

Задача 6.9. Радиоэлектронный аппарат рассеивает мощность  $P = 30$  Вт. Размеры радиоэлектронного аппарата  $L1 \cdot L2 \cdot L3 = 0, 2 \cdot 0, 15 \cdot 0, 15$  м<sup>3</sup>, степень черноты поверхности кожуха  $\varepsilon = 0,92$ , температура окружающей среды  $t_c = 20$  градусов Цельсия. Рассчитайте среднеповерхностную температуру кожуха  $t_k$  при атмосферном давлении  $H = 80$  кПа.

Задача 6.10. Кристалл полупроводникового прибора диаметром 2 мм размещен на поликоровой подложке. Толщина подложки 2 мм, максимально допустимая температура кристалла 85 градусов Цельсия, температура подложки не превышает 55 градусов Цельсия. Коэффициент теплопроводности поликора 25 Вт/м · К. Найти допустимую мощность данного полупроводникового прибора.

Задача 6.11. Транзистор 2Т926А закреплен на радиаторе винтовым соединением. Толщина радиатора 3 мм. Коллектор изолирован от радиатора слюдяными шайбами толщиной 0,5 мм. Для механической защиты слюды от гайки использована стальная шайба толщиной 0,8 мм. Определить температуру транзистора, если радиатор нагревается до 55 градусов Цельсия при токе коллектора 4 А и напряжении коллектор-эмиттер 90 В. Коэффициент теплопроводности слюды 0,582 Вт/м · К, стали 50 Вт/м · К.

Задача 6.12. РЭА заключена в шарообразную оболочку с внутренним диаметром 1,2 м, выполненную из теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности 0,12 Вт/м · К.

Определить необходимую толщину теплоизоляционной оболочки, если температура внутри оболочки должна быть не ниже 20 градусов Цельсия при охлаждении внешней поверхности до -150 градусов Цельсия. Мощность тепловыделения объекта 450 Вт.

Задача 6.13. Определить конвективно—кондуктивный коэффициент теплопередачи для вертикально ориентированной воздушной прослойки толщиной 40мм, длиной 220 мм, шириной 210мм. Температуры нагретых поверхностей 80 градусов Цельсия и 40 градусов Цельсия.

Задача 6.14. В прямоугольный стержень длиной 200 мм и размерами поперечного сечения 15 · 40 мм. втекает тепловой поток 15 Вт. Коэффициент теплопроводности материала стержня 120 Вт/м · К. Усреднённый коэффициент теплоотдачи поверхности 15 Вт/м · К.

Рассчитайте перегрев стержня относительно температуры окружающей среды в точках с координатами  $X=0, 100, 200$  мм.

Задача 6.15. Какой максимальный ток выдержит одиночный провод диаметром 0,35 мм без разрушения изоляции при естественной конвекции, если сопротивление погонного метра 0,15 Ом, температура среды не выше 40 градусов Цельсия, давление  $H=80$  кПа. Температура разрушения изоляции 140 градусов Цельсия. Толщиной изоляции пренебречь.

Задача 6.16. Транзистор П601 установлен в центре металлического диска радиусом 60 мм и толщиной 3,2 мм. Степень черноты поверхности 0,9. Температура окружающей среды 20 градусов Цельсия при давлении  $H=50$  кПа. Среднеповерхностная температура диска 60 градусов Цельсия. Рассчитайте мощность транзистора.

Задача 6.17. Через резистор ПЗ-20 сопротивлением 420 Ом течет ток 0,12 А, Степень черноты поверхности резистора 0,9. Температура окружающей среды 20 градусов Цельсия. Размеры резистора 0,05 · 0,018 м. Рассчитать среднеповерхностную температуру при давлении  $H=40$  кПа.

Задача 6.18. Транзистор ГТ804 установлен в центре прямоугольной металлической пластины 0,14 · 0,16 м<sup>2</sup>. Рассеиваемая им мощность 6 Вт. Пластина обдувается вдоль большей стороны воздухом со скоростью 5,5 м / с. Температура воздуха 20 градусов Цельсия. Тепловое сопротивление переход- корпус для ГТ804 2,5 К/Вт, а транзистора—пластины 0,12 К/Вт. Рассчитать температуру  $p-n$  перехода при давлении  $H=50$  кПа.

Задача 6.19. Бескорпусной транзистор с размерами основания 1 · 1 мм приклеен к подложке из диэлектрика. Толщина подложки 0,4 мм, клевого слоя 0,12 мм. Коэффициент теплопроводности подложки 1,8 Вт/м · К, клея 0,12 Вт/м · К, Подложка размещена на радиаторе.

Определить максимальную величину теплового потока, протекающего за счет теплопроводности от транзистора к радиатору, если температура радиатора 50 градусов Цельсия, транзистора не более 85 градусов Цельсия.

Задача 6.20. Транзистор КТ 829В закреплен на радиаторе винтовым соединением. Толщина радиатора 3 мм. Коллектор изолирован от радиатора слюдяными шайбами толщиной 0,5 мм. Слюдяная шайба защищается от гайки стальной шайбой толщиной 0,2 мм.

Определить температуру кристалла, если радиатор нагревается до 60 градусов Цельсия при токе коллектора 2 А и напряжении коллектор— эмиттер 45 В.

Задача 6.21. РЭС заключена в шарообразную оболочку с внутренним диаметром 0,9 м, выполненную из теплоизоляционного материала с коэффициентом теплопроводности 0,25 Вт/м · К.

Определить необходимую толщину теплоизоляционной оболочки, если температура внутри оболочки должна быть не ниже 30 градусов Цельсия при охлаждении внешней поверхности до -140 градусов Цельсия. Мощность тепловыделения объекта 450 Вт.

Задача 6.22. Определить тепловой поток, рассеиваемый вертикально ориентированной поверхностью размерами 0,5 · 0,5 м. Температура поверхности 40 градусов Цельсия. Степень черноты 0,9. Температура окружающей среды 20 градусов Цельсия.

Задача 6.23. Нагреватель с оболочкой, представляющий собой плоский диск диаметром 25 мм, расположен горизонтально. Предельная температура оболочки 320 градусов Цельсия. Степень черноты 0,92.

Определить максимальную мощность, которую способен рассеять нагреватель при атмосферном давлении  $H=50$  кПа и температуре воздуха 40 градусов Цельсия.

Задача 6.24. Рассчитать тепловой поток между горизонтально расположенными поверхностями (более нагретая поверхность снизу) при нормальном атмосферном давлении, температурах поверхностей 50 и 30 градусов Цельсия, степени черноты 0,5 и 0,9 соответственно.

Задача 6.25. Плоская поверхность 0,6·0,3 м<sup>2</sup> с температурой 50 градусов Цельсия находится в продольном потоке воздуха со скоростью 2,5 м/с при температуре 20 градусов Цельсия, степень черноты поверхности 0,92. Рассчитать рассеиваемый тепловой поток.

Задача 6.26. Баллон электронной лампы рассеивает мощность 9,5 Вт и имеет размеры 65·20 мм. Степень черноты поверхности 0,8, температура окружающей среды 30 градусов Цельсия.

Рассчитать среднеповерхностную температуру баллона при давлении  $H=50$  кПа .

Задача 6.27. Через резистор ПЭ-20 сопротивлением 220 Ом течет 0,12 А. Степень черноты поверхности резистора 0,8, температура окружающей

среды 20 градусов Цельсия. Размеры резистора 0, 05·0,018 м. Рассчитать среднеповерхностную температуру при давлении  $H=50$  кПа .

Задача 6.28. Рассчитать температуру корпуса  $t_K$  блока коэффициентным методом, считая корпус герметичным. Исходные данные: габариты блока: длина  $L1 = 0,25$  м, ширина  $L2 = 0,2$  м, высота,  $L3 = 0,1$  м . Рассеиваемая мощность 20 Вт. Температура окружающей среды 30 градусов Цельсия.

Задача 6.29. Рассчитать  $t_K$  герметичного блока методом последовательным приближений (сходимость  $\delta t_{\text{дон}}=|2$  градуса Цельсия|). Исходные данные взять из задачи 6.28. Сравнить численные результаты решения этих задач.

6.2 Вопросы для контроля остаточных знаний в результате самостоятельной работы студентов

1. Коррозия металлов и методы защиты от нее.
2. Влияние температуры, пыли и влажности на электрорадиоэлементы, на конструктивные электрические параметры, на надежность РЭС.
3. Понятие о теплопроводности.
4. Дифференциальное уравнение теплопроводности.
4. Начальные и граничные условия. Общая постановка краевой задачи теплопроводности.
5. Электротепловая аналогия.
6. Распространение тепла при стационарном режиме в плоской, цилиндрической и шаровой стенках.
7. Естественная и вынужденная конвекция.
8. Критерии подобия..
9. Понятие о теплообмене излучением. Закон Стефана-Больцмана.
10. Излучение нечерных тел. Закон Кирхгофа.
11. Теплообмен излучением между плоскостями и между произвольно расположенными телами различной формы, разделенными прозрачной средой.
12. Влияние на теплообмен солнечного излучения..
13. Инженерные формулы для расчета совместного действия излучения и конвекции.
14. Механизмы поглощения влаги материалами конструкций РЭС.
15. Законы растворимости и диффузии.

16. Аналогия законов переноса электрических зарядов, теплообмена и массообмена.
17. Зависимость относительной влажности среды от температуры.
18. Принципы суперпозиции температурных и влажностных полей.
19. Использование метода последовательных приближений для увеличения точности расчета.
20. Переход от системы тел к квазиоднородному телу.
21. Коэффициентный метод расчета температуры и влажности. Примеры его использования для расчета тепловых режимов блоков РЭС.
22. Конструкции термостатов и холодильников, использующих эффект Пельтье.
23. Принцип действия и конструкции турбохолодильника и вихревого холодильника.
24. Конструкция и принцип работы тепловых труб и систем охлаждения РЭС.
25. Обволакивание, опрессовка, пропитка и заливка.
26. Герметизация РЭС в вакуумплотных корпусах.
27. Осушение воздуха.
28. Расчет толщины влагозащитных покрытий.