

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Филиал федерального государственного бюджетного образовательного  
учреждения высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»  
в городе Борисоглебске

УТВЕРЖДАЮ

Директор филиала

« Е.А. Позднова/  
2023 г.»

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**дисциплины**

**«Теплофизические процессы в электронных средствах»**

**Направление подготовки** 11.03.03 Конструирование и технология электронных средств

**Профиль** Проектирование и технология радиоэлектронных средств

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** Очная

**Год начала подготовки** 2023

Автор программы



Н.В. Ципина

Заведующий кафедрой  
конструирования и  
технологии ЭС



А.В. Башкиров

Руководитель ОПОП



А.В. Башкиров

**Борисоглебск 2023**

## 1 ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1 Цели дисциплины** формирование базовых знаний и навыков теплофизического проектирования электронных средств с использованием системного подхода на базе широкого применения ЭВМ и систем автоматизированного проектирования.

**1.2 Задачи освоения дисциплины** освоение методов охлаждения и влагозащиты электронных средств;

формирование практических навыков проектирования и функционирования сложных систем теплообмена;

применение полученных знаний для расчетов тепловых режимов простых элементов и устройств ЭС на этапе их проектирования с применением САПР на базе новейших персональных ЭВМ.

## 2 МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Теплофизические процессы в электронных средствах» относится к дисциплинам по выбору части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Теплофизические процессы в электронных средствах» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 Способен выполнять проектирование радиоэлектронных устройств в соответствии с техническим заданием с использованием средств автоматизации проектирования

ПК-3 Способен разрабатывать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                  |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-2        | знать тепловые режимы блоков и элементов ЭС и выбор конструкции радиаторов с использованием современных систем автоматизированного проектирования.                                                 |
|             | уметь выбирать системы охлаждения для РЭС и способы обеспечения тепловых режимов, с использованием средств автоматизации проектирования                                                            |
|             | владеть современными методами проектирования электронных средств с учетом обеспечения тепловых режимов. Навыками 3D моделирования конструкции, позволяющими увидеть результат проведенных расчетов |
| ПК-3        | знать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств с учетом тепловых режимов                                                                                                          |
|             | уметь разрабатывать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств, с учетом тепловых режимов                                                                                           |
|             | владеть современными программными комплексами разработки конструкторской и технической документации                                                                                                |

#### 4 ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Теплофизические процессы в электронных средствах» составляет 7 зачётных единиц.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

| Вид учебной работы                     | Всего часов | Семестры   |
|----------------------------------------|-------------|------------|
|                                        |             | 3          |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>      | <b>126</b>  | <b>126</b> |
| В том числе:                           |             |            |
| Лекции                                 | 36          | 36         |
| Практические занятия (ПЗ)              | 18          | 18         |
| Лабораторные работы (ЛР)               | 72          | 72         |
| <b>Самостоятельная работа</b>          | <b>90</b>   | <b>90</b>  |
| Курсовой проект                        | +           | +          |
| Контрольная работа                     |             |            |
| Вид промежуточной аттестации – экзамен | 36          | 36         |
| Общая трудоемкость час                 | 252         | 252        |
|                                        | зач. ед. 7  | 7          |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

| № п/п | Наименование темы                                     | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Лекц | Прак зан. | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|-------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|-----------|-----|------------|
| 1     | Основные понятия и законы переноса энергии и вещества | Цель и задачи курса. Основные понятия и определения. Процессы теплообмена в природе. Общая характеристика теплообмена в ЭС. Тепло- и влагостойкость элементов. Теплопроводность (кондуктивный перенос тепла). Понятие теплопроводности. Закон Фурье. Тепловые коэффициенты. Тепловые сопротивления. Метод электротепловых аналогий. Конвективный теплообмен. Понятие конвективного теплообмена. Виды и режимы движения среды. Критерии подобия. Теплообмен излучением. Понятие излучения. Основные законы теплового излучения. Закон Планка. Закон смещения Вина. Закон Ламберта. Закон Кирхгофа. | 8    | 2         | 12        | 15  | 37         |
| 2     | Сложный теплообмен                                    | Понятие сложного теплообмена. Уравнение теплового баланса. Теплопередача через плоскую однослойную стенку. Теплопередача через плоскую многослойную стенку. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 8    | 2         | 12        | 15  | 37         |

|              |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |           |           |           |            |
|--------------|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|
|              |                                                                                      | Передача тепла через оребренную поверхность (радиатор)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |           |           |           |            |
| 3            | Влагообмен.                                                                          | Законы Фика. Методика расчета влагозащиты. Способы влагозащиты полимерными материалами. Герметизация. Способы герметизации.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 8         | 2         | 12        | 15        | 37         |
| 4            | Стационарный и нестационарный тепловые режимы в приборах                             | Нестационарный тепловой режим простейших моделей электронных средств. Понятие нестационарного теплового режима. Приближенные расчеты нестационарных температурных полей. Стационарный тепловой режим простейших моделей РЭС. Понятие стационарного теплового режима. Основные закономерности стационарных полей. Принцип суперпозиции. Принцип местного влияния.                                                                                                                                                                                                                                        | 4         | 4         | 12        | 15        | 35         |
| 5            | Выбор системы охлаждения электронных средств и способы обеспечения тепловых режимов. | Тепловые режимы и способы обеспечения тепловых режимов РЭС. Методы оценки тепловых режимов. Тепловые режимы РЭС с крупными деталями на шасси и кассетного типа. Выбор системы охлаждения для РЭС и способы обеспечения тепловых режимов. Классификация систем охлаждения: воздушные системы охлаждения, жидкостные системы охлаждения, испарительные системы охлаждения, кондуктивные системы охлаждения. Способы интенсификации теплообмена радиоэлектронных средств. Методы анализа при теплофизическом проектировании элементов. Способы охлаждения электронных средств. Выбор способа охлаждения ЭС | 4         | 4         | 12        | 15        | 35         |
| 6            | Специальные устройства охлаждения радиоэлектронных средств.                          | Основные элементы систем охлаждения. Теплоносители. Теплообменные устройства. Вентиляторы. Специальные устройства охлаждения радиоэлектронных средств. Вихревые трубы. Термосифоны. Тепловые трубы. Термоэлектрическое охлаждение. Термостатирование с помощью полупроводниковых термобатарей. Принцип действия и конструкция турбохолодильника                                                                                                                                                                                                                                                         | 4         | 4         | 12        | 15        | 35         |
| <b>Итого</b> |                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>36</b> | <b>18</b> | <b>72</b> | <b>90</b> | <b>216</b> |

Практическая подготовка при освоении дисциплины учебным планом не предусмотрена.

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Расчет тепловых характеристик стоек ЭС. Исследование теплового режима блока ЭС.

Моделирование температурных полей модулей на печатных платах.

Моделирование температурного поля и расчет надежности интегральной микросхемы.

Моделирование температурного поля и расчет надежности микросборок.

Моделирования температурных режимов и выбор типа радиаторов

### **5.3 Перечень практических работ**

Обеспечение влагозащиты РЭС. Расчет времени влагозащиты гермооболочки РЭС. Воздействие влаги на материалы и электрорадиоэлементы. Способы влагозащиты элементов и узлов РЭС.

Определить тепловой режим блока в герметичном корпусе и его элементов.

Определить тепловой режим блока в герметичном корпусе с внутренним перемешиванием и его элементов.

Определить тепловой режим блока в герметичном корпусе с наружным обдувом.

Рассчитать тепловой режим герметичного блока с ребренными корпусом.

Рассчитать тепловой режим блока в перфорированном корпусе и его элементов.

## **6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ**

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 3 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Теплофизические процессы в электронных средствах».

Темой курсового проекта является расчет тепловых режимов блоков и элементов ЭС и выбор конструкции радиатора по предложенному варианту. Курсовые проекты исследовательского профиля связаны с теоретическими и экспериментальными исследованиями в области конструирования электронных средств.

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- Выбрать способ охлаждения блока ЭС
- Рассчитать тепловой режим блока
- Рассчитать радиатор для наиболее теплонагруженных транзисторов

Курсовой проект включают в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## **7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### **7.1.1 Этап текущего контроля**

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации

оцениваются по системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                  | Критерии оценивания                                                                                    | Аттестован                                                    | Не аттестован                                                   |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ПК-2        | знать тепловые режимы блоков и элементов ЭС и выбор конструкции радиаторов с использованием современных систем автоматизированного проектирования.                                                 | Активная работа на лабораторных и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь выбирать системы охлаждения для РЭС и способы обеспечения тепловых режимов, с использованием средств автоматизации проектирования                                                            | Решение стандартных практических задач                                                                 | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | владеть современными методами проектирования электронных средств с учетом обеспечения тепловых режимов. Навыками 3D моделирования конструкции, позволяющими увидеть результат проведенных расчетов | Решение прикладных задач в конкретной предметной области                                               | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-3        | знать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств с учетом тепловых режимов                                                                                                          | Активная работа на лабораторных и практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите. | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь разрабатывать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств, с учетом тепловых режимов                                                                                           | Решение стандартных практических задач.                                                                | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | владеть современными программными комплексами разработки конструкторской и технической документации                                                                                                | Решение прикладных задач в конкретной предметной области.                                              | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 3 семестре по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции | Критерии оценивания | Отлично                 | Хорошо                  | Удовл.                  | Неудовл.          |
|-------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------|
| ПК-2        | знать тепловые режимы блоков и элементов ЭС и                     | Тест                | Выполнение теста на 90- | Выполнение теста на 80- | Выполнение теста на 70- | В тесте менее 70% |

|      |                                                                                                                                                                                                    |                                                          |                                                        |                                                                                       |                                                          |                                      |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|      | выбор конструкции радиаторов с использованием современных систем автоматизированного проектирования.                                                                                               |                                                          | 100%                                                   | 90%                                                                                   | 80%                                                      | правильных ответов                   |
|      | уметь выбирать системы охлаждения для РЭС и способы обеспечения тепловых режимов, с использованием средств автоматизации проектирования                                                            | Решение стандартных практических задач                   | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
|      | владеть современными методами проектирования электронных средств с учетом обеспечения тепловых режимов. Навыками 3D моделирования конструкции, позволяющими увидеть результат проведенных расчетов | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
| ПК-3 | знать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств с учетом тепловых режимов                                                                                                          | Тест                                                     | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%                                                            | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|      | уметь разрабатывать программы и методики испытаний радиоэлектронных устройств, с учетом тепловых режимов                                                                                           | Решение стандартных практических задач                   | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
|      | владеть современными программными комплексами разработки конструкторской и технической документации                                                                                                | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Метод определения тепловых коэффициентов, который сводится к решению системы уравнений баланса, тепловой энергии или теплопроводности в каждом конкретном случае, является:

- а) Экспериментальным
- б) Теоретическим
- с) Аналитическим

2. Большинство реальных нагретых зон РЭС являются системой с:

- а) дальним порядком

- b) ближним порядком
- c) средним порядком

3. Методы исследования, которые приводят к системе формул, позволяющих получить информацию о тепловом поле проектируемой системы в общем виде, называются:

- a) Экспериментальными
- b) Приближенными аналитическими
- c) Аналоговыми

4. Что относится к первичным факторам, влияющим на тепловой режим РЭС?

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a) изменение температуры окружающей среды и внешние тепловые потоки
- b) давление внутри корпуса РЭС
- c) влажность

5. Диапазон изменения температуры окружающей среды от -60 до +60 °C характерен для:

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a) корабельных РЭС
- b) наземных РЭС
- ракетно-космических РЭС

6. Что относится к первичным факторам, влияющим на тепловой режим РЭС?

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- c) изменение температуры окружающей среды и внешние тепловые потоки
- d) давление внутри корпуса РЭС
- e) влажность

7. Тепловая энергия, выделяющаяся в системе, приводит к:

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a) повышению её температуры
- b) понижению её температуры
- c) стабильности её температуры

8. Что такое термостойкость?

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a) это способность материалов элементов РЭС кратковременно или длительно противостоять воздействию влажности
- b) это способность материалов элементов РЭС кратковременно или длительно противостоять воздействию низких или высоких температур, а также резких изменений температур
- c) это способность материалов элементов РЭС кратковременно или длительно противостоять воздействию давления

9. Что такое термостойкость?

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- d) это способность материалов элементов РЭС кратковременно или

длительно противостоять воздействию влажности

е) это способность материалов элементов РЭС кратковременно или длительно противостоять воздействию низких или высоких температур, а также резких изменений температур

ф) это способность материалов элементов РЭС кратковременно или длительно противостоять воздействию давления

10. Отношение количества паров воды в воздухе к его критическому значению – это:

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

а) абсолютная влажность

б) влажность

с) относительная влажность

11. Нормальной относительной влажностью считается влажность, равная. Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

а) 60-70 %

б) 70-80 %

с) 80-90 %

12. Процесс поглощения влаги поверхностью материала называется:

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

а) абсорбция

**б) адсорбция**

сорбция

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Закончить предложения, вписав недостающие фразы

1. Наибольшее изменение температуры происходит при переходе от изотермы к изотерме \_\_\_\_\_.

2. Градиентом температур называют называется предел отношения изменения температуры к изменению расстояния \_\_\_\_\_.

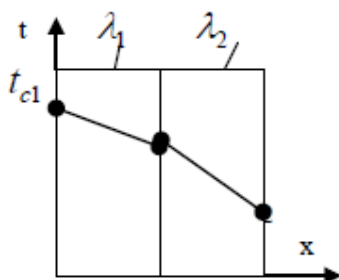
3. Процесс распространения электромагнитных волн, испускаемых телом при преобразовании внутренней энергии тела в результате внутримолекулярных и внутриатомных \_\_\_\_\_.

4. Совокупностью процессов испускания, переноса, поглощения, отражения и пропускания теплового излучения называется \_\_\_\_\_.

5. Сравнить

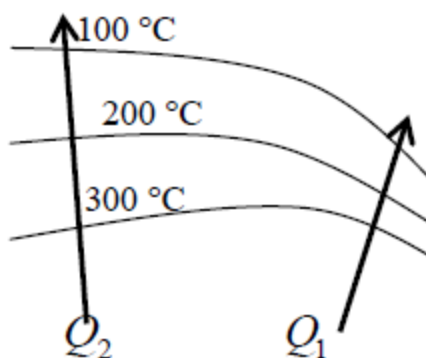
коэффициенты

теплопроводности слоев плоской стенки при  $\delta_1 = \delta_2$



6. Сравнить тепловые потоки  $Q_1$  и  $Q_2$

7. Сравнить степени черноты гладкой и шероховатой поверхностей!



А)  $\varepsilon_{\text{гл}} < \varepsilon_{\text{шер}}$

Б)  $\varepsilon_{\text{гл}} = \varepsilon_{\text{шер}}$

В)  $\varepsilon_{\text{гл}} > \varepsilon_{\text{шер}}$

8. Указать математическое выражение

3-мерного стационарного

температурного поля!

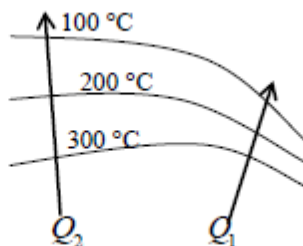
Г)  $t = f(x, y, z, )$

А)  $t = f(x, i)$

Б)  $t = f(x)$

В)  $t = f(x, y, z, i)$

9. Сравнить тепловые потоки  $Q_1$  и  $Q_2$ !



А)  $Q_1 = Q_2$

Б)  $Q_1 < Q_2$

В)  $Q_1 > Q_2$

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                          |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| 1 | 1. Теплота отдаётся свободной конвекцией от горизонтального цилиндра длиной $l=0,2\text{ м}$ , диаметром $d=0,2\text{ м}$ и температурой стенки $t_c=30^\circ\text{C}$ к воздуху температурой $t_b=10^\circ\text{C}$ . Определить отданную теплоту $Q$ в Вт, если для воздуха: $Pr=0,7$ ; $\lambda = 0,025 \frac{\text{Вт}}{\text{мК}}$ ; $\nu = 14,2 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ | А) 52,4<br>Б) 4,16<br>В) 10,5<br>Г) 33,3 |
| 2 | Теплота передается от горячего теплоносителя к холодному через плоскую стенку поверхностью $F = 0,2 \text{ м}^2$ . Определить термическое сопротивление теплопередачи, если: $\alpha_1 = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ; $\alpha_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К})$ ; $\delta = 0,1 \text{ м}$ ; $\lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{мК})$ !                                       | А) 0,122<br>Б) 8,2<br>В) 13,1<br>Г) 65,6 |
| 3 | Теплота передается от горячего теплоносителя к холодному через цилиндрическую стенку длиной $L = 0,5 \text{ м}$ . Определить удельный линейный тепловой поток $q_l$ в $\text{Вт}/\text{м}$                                                                                                                                                                                                | А) 0,108<br>Б) 9,26<br>В) 116<br>Г) 233  |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |                                        |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
|   | $\alpha_1 = 500 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ ; $\alpha_2 = 50 \text{ Вт/(м}^2\text{К)}$ ;<br>$d_1/d_2 = 0,2/0,21 \text{ м}$ ; $\lambda = 10 \text{ Вт/(мК)}$ ;<br>$t = 8 \text{ К}$                                                                                                                                                                                                                                    |                                        |
| 4 | Теплота передается теплопроводностью через 2-слойную цилиндрическую стенку длиной $L = 0,8 \text{ м}$ . Определить переданную теплоту $Q$ в Вт, если:<br>$d_1/d_2/d_3 = 0,45/0,5/0,6 \text{ м}$ ; $\lambda_1 = 1 \text{ Вт/(мК)}$ ; $t_{c1} = 120 \text{ }^\circ\text{C}$ ; $\lambda_2 = 0,05 \text{ Вт/(мК)}$ ; $t_{c2} = 60 \text{ }^\circ\text{C}$ .                                                             | А) 80<br>Б) 100<br>В) 118<br>Г) 236    |
| 5 | Теплота передается теплопроводностью через 2-слойную плоскую стенку поверхностью $F = 0,8 \text{ м}^2$ . Определить температуру между слоями $t'$ , если:<br>$\delta_1 = 0,2 \text{ м}$ ; $\lambda_1 = 1 \text{ Вт/(мК)}$ ; $t_{c1} = 550 \text{ }^\circ\text{C}$ ;<br>$\delta_2 = 0,02 \text{ м}$ ; $\lambda_2 = 0,1 \text{ Вт/(мК)}$ ; $t_{c2} = 350 \text{ }^\circ\text{C}$ .                                    | А) 400<br>Б) 450<br>В) 500<br>Г) 550   |
| 6 | Воздух с температурой $t_1 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ движется со скоростью $w = 15 \text{ м/с}$ в трубе диаметром $d = 0,1 \text{ м}$ , длиной $L = 5 \text{ м}$ и температурой стенки $t_c = 40 \text{ }^\circ\text{C}$ .<br>Определить удельный линейный тепловой поток $q_\ell$ в Вт/м, если для воздуха: $\nu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$ ;<br>$\lambda = 0,028 \text{ Вт/(мК)}$ ; $Pr = 0,7$ . | А) 0,22<br>Б) 43,7<br>В) 137<br>Г) 685 |
| 7 | Чему равна приведенная степень черноты двух параллельных поверхностей, если:<br>$\varepsilon_1 = 0,25$ ; $\varepsilon_2 = 0,5$ ?                                                                                                                                                                                                                                                                                    | А) 0,14<br>Б) 0,8<br>В) 0,2<br>Г) 0,5  |

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

1. Влияние тепла и влаги на РЭА и её элементы.
2. Способы переноса тепловой энергии в твердых телах, жидких и газообразных средах.
3. Основные теплофизические характеристики.
4. Теплопроводность (кондуктивный перенос тепла).
5. Закон Фурье. Физический смысл коэффициента теплопроводности.
6. Закон Фурье. Методы электротепловых аналогий (ЭТА).
7. Теплопроводность через плоскую однослойную стенку.
8. Теплопроводность через плоскую трехслойную стенку.
9. Определение градиента температуры.
10. Конвективный теплообмен. Закон Ньютона-Рихмана.
11. Виды и режимы движения среды.
12. Критерий подобия.

13. Теплообмен излучением. Тепловой баланс лучистого теплообмена. Перенос тепла излучением.
14. Основные законы лучистого теплообмена.
15. Лучистый теплообмен между параллельными поверхностями. Лучистый теплообмен при наличии экранов
16. Сложный теплообмен. Теплопередача через однослойную и многослойную плоские стенки.
17. Теплопередача через цилиндрическую стенку. Случай ребренной поверхности.
18. Тепломассообмен в двухфазных средах. Диффузия. Первый и второй закон Фика.
19. Перенос влаги через материал с помощью специального потока, Закон Генри.
20. Физический смысл коэффициента растворимости.
21. Методика расчета влагозащиты РЭА
22. Нестационарный тепловой режим.
23. Основные закономерности стационарных полей.
24. Принцип суперпозиции. Принцип местного влияния.
25. Способы охлаждения аппаратов с деталями на шасси
26. Способ охлаждения аппаратов кассетной конструкции.
27. Классификация систем обеспечения теплового режима (СОТР).
28. Классификация систем охлаждения РЭА.
29. Системы охлаждения РЭА на основе конвекции.
30. Кондуктивные системы охлаждения. Системы охлаждения с использованием различных физических эффектов.
31. Основные элементы систем охлаждения. Теплоносители.
32. Нагнетатели систем охлаждения.
33. Теплообменные устройства. Расчет теплообменников.
34. Разновидности теплообменных устройств. Изменение температур теплоносителей при прямотоке и противотоке.
35. Термоэлектрические охлаждающие устройства.
36. Конструкция термосифона.
37. Использование для охлаждения РЭА тепловых труб, их принцип действия и конструкция.
38. Принцип действия вихревой трубы (Эффект Ранка).
39. Принцип действия турбоохладительного агрегата.
40. Измерение температур.
41. Измерение скорости жидкости и газов (Трубка Пито).
42. Измерение влажности (сорбционный, психрометрический метод, метод точки росы).
43. Специальные методы влагозащиты РЭА, их классификация.

#### **7.2.6 Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 5

вопросов. 5 стандартных задач и 5 прикладных задач.. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 15.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 5 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 5 до 8 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 9 до 12 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 13 до 15 баллов.)

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины                                             | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства                                                                                         |
|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1     | Основные понятия и законы переноса энергии и вещества                                | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту, вопросы к экзамену |
| 2     | Сложный теплообмен                                                                   | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту, вопросы к экзамену |
| 3     | Влагообмен.                                                                          | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту, вопросы к экзамену |
| 4     | Стационарный и нестационарный тепловые режимы в приборах                             | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту, вопросы к экзамену |
| 5     | Выбор системы охлаждения электронных средств и способы обеспечения тепловых режимов. | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту, вопросы к экзамену |
| 6     | Тепловые и влажностные измерения.                                                    | ПК-2, ПК-3                     | Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту, вопросы к экзамену |

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Муратов А.В. Теплофизические процессы в радиоэлектронных устройствах и приборах [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. (2,5 Мб ). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. - 1 файл.

2. Муратов, А.В. Способы обеспечения тепловых режимов РЭС : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. - 98 с.

3. Ашков, Е.М. Теплофизическое проектирование радиоэлектронных средств : учеб. пособие / Е.М. Ашков, А.В. Муратов. - Воронеж : ВГТУ, 2001. - 132 с.

4. Методические указания по самостоятельной работе по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах», «Теплофизические процессы в электронных средствах» для студентов направлений 12.03.01. «Приборостроение» (профиль «Приборостроение»), 11.03.03. «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») всех форм обучения. [Электронный ресурс] / Каф. конструирования и производства радиоаппаратуры; Сост.: А. В. Турецкий, Н. В. Ципина. - Электрон. текстовые, граф. дан. (662 Кб). - Воронеж : ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2015. - 1 файл.

5. Методические указания по выполнению практических работ по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах», «Теплофизические процессы в электронных средствах» для студентов направлений 200100.62 «Приборостроение» (профиль «Приборостроение»), 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») очной и заочной форм обучения [Электронный ресурс] / Каф. конструирования и производства радиоаппаратуры; Сост.: А. В. Муратов, Н. В. Ципина. - Электрон. текстовые, граф. дан. ( 683 Мб ). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. - 1 файл.

6. Моделирование температурных полей микросистемных устройств и приборов [Электронный ресурс] : Методические указания к лабораторным работам по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах», «Теплофизические процессы в электронных средствах» для студентов по направлениям 200100.62 «Приборостроение» (профиль «Приборостроение»), 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств» ( профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств» очной и заочной форм обучения / Каф. конструирования и производства радиоаппаратуры; Сост.: А. В. Муратов, Н. В. Ципина. - Электрон. текстовые, граф. дан. ( 3,18 Мб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2012. - 1 файл.

7. Расчет теплового режима блока РЭС [Электронный ресурс] : Методические указания по курсовому проектированию по дисциплинам «Теплофизические процессы в приборах», «Теплофизические процессы в электронных средствах» для студентов направлений 200100.62 «Приборостроение» (профиль «Приборостроение»), 211000.62 «Конструирование и технология электронных средств» (профиль «Проектирование и технология радиоэлектронных средств») очной и заочной форм обучения / Каф. конструирования и производства радиоаппаратуры; Сост.: А. В. Муратов, Н. В. Ципина. - Электрон. текстовые, граф. дан. (958 Кб). - Воронеж : ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2015. - 1 файл.

8. Шуваев, В.А. Методы обеспечения тепловых режимов при проектировании радиоэлектронных средств : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО «Воронежский государственный технический университет», 2008. - 147 с.

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

1. Консультирование посредством электронной почты.
2. Использование презентаций при проведении лекционных занятий.
3. Работа в локальной и глобальной сетях, использование электронных учебников, использование мультимедийных компьютерных технологий.

ПО: Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, программный комплекс КОМПАС 3D LT.

Современная профессиональная база данных: Mathnet.ru, e-library.ru.

Информационные справочные системы: dist.sernam.ru, Wikipedia, <http://eios.vorstu.ru/>

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Для проведения ряда лекционных занятий по дисциплине необходимы аудитории, оснащенные презентационным оборудованием, т.е. технические средства обеспечения (ТСО): мультимедийная установка, ноутбук, экран.

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума

Кабинеты, оборудованные проекторами и интерактивными досками

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ**

По дисциплине «Теплофизические процессы в электронных средствах» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Лекции представляет собой систематическое, последовательное изложение учебного материала. Это – одна из важнейших форм учебного процесса и один из основных методов преподавания в вузе. На лекциях от студента требуется не просто внимание, но и самостоятельное оформление конспекта. Качественный конспект должен легко восприниматься зрительно, в эго тексте следует соблюдать абзацы, выделять заголовки, пронумеровать формулы, подчеркнуть термины. В качестве ценного совета рекомендуется записывать не каждое слово лектора (иначе можно потерять мысль и начать писать автоматически, не вникая в смысл), а постараться понять основную мысль лектора, а затем записать, используя понятные сокращения.

- Практические занятия позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности практических занятий для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания..

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

- Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоения

учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:

- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;
- выполнение домашних заданий и типовых расчетов;
- работа над темами для самостоятельного изучения;
- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;
- подготовка к зачету.

Кроме базовых учебников рекомендуется самостоятельно использовать имеющиеся в библиотеке учебно-методические пособия. Независимо от вида учебника, работа с ним должна происходить в течение всего семестра. Эффективнее работать с учебником не после, а перед лекцией.

При ознакомлении с каким-либо разделом рекомендуется прочитать его целиком, стараясь уловить общую логику изложения темы. При повторном чтении хорошо акцентировать внимание на ключевых вопросах и основных теоремах (формулах). Можно составить их краткий конспект.

Степень усвоения материала проверяется следующими видами контроля:

- текущий (опрос, контрольные работы, типовые расчеты);
- рубежный (коллоквиум);
- промежуточный (курсовая работа, зачет, зачет с оценкой, экзамен).

Коллоквиум – форма итоговой проверки знаний студентов по определенным темам.

Зачет – форма проверки знаний и навыков, полученных на лекционных и практических занятиях. Сдача всех зачетов, предусмотренных учебным планом на данный семестр, является обязательным условием для допуска к экзаменационной сессии.

Экзамен – форма итоговой проверки знаний студентов.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

Для успешной сдачи экзамена необходимо выполнить следующие рекомендации – готовиться к экзамену следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до экзамена. Данные перед экзаменом три-четыре дня эффективнее всего использовать для повторения.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|---------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция              | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| Практическое занятие                  | Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Лабораторная работа                   | Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.                                                                                                                                             |
| Самостоятельная работа                | Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul> |
| Подготовка к промежуточной аттестации | Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.                                                                                                                                                                                                                                                                                            |

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений | Дата<br>внесения<br>изменений | Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП |
|----------|-----------------------------|-------------------------------|----------------------------------------------------------------|
| 1        |                             |                               |                                                                |
| 2        |                             |                               |                                                                |
| 3        |                             |                               |                                                                |