

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета  
радиотехники и электроники

В.А. Небольсин

(подпись)

« 16 » декабря 2022 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА  
дисциплины (модуля)**

**«Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС»**

**Направление подготовки (специальность) 11.04.03 - Конструирование и технология электронных средств**

**Профиль (специализация) Автоматизированное проектирование и технология радиоэлектронных средств специального назначения**

**Квалификация выпускника Магистр**

**Нормативный период обучения 2 года / 2,3 года**

**Форма обучения Очная / Заочная**

**Год начала подготовки 2023 г.**

Автор программы \_\_\_\_\_ /Ципина Н.В./

Заведующий кафедрой  
конструирования и производства  
радиоаппаратуры \_\_\_\_\_ /Башкиров А.В./

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ /Башкиров А.В./

**Воронеж 2022**

# 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

## 1.1. Цели дисциплины

Формирование у магистрантов навыков моделирования и обеспечения тепловых характеристик конструкций РЭС при проектировании, с использованием системного подхода на базе широкого применения ЭВМ и систем автоматизированного проектирования.

## 1.2. Задачи освоения дисциплины

Освоение методов охлаждения конструкций РЭС. Формирование практических навыков оптимизации тепловых характеристик конструкций РЭС. Применять полученные знания для анализа тепловых полей и построения на основе этих данных теплостабильных конструкций РЭС.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС» относится к дисциплинам по выбору блока Б1.В.ДВ.09.01 учебного плана.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС» направлен на формирование компетенции:

ПК-2 Способен определять цели, осуществлять постановку задач проектирования электронных приборов, схем и устройств различного функционального назначения, подготавливать технические задания на выполнение проектных работ

ПК-3 – Способен проектировать функциональные блоки, модули, устройства, системы и комплексы электронных средств с учетом заданных требований.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-3	знать математические модели и методы исследования для решения задач многовариантного анализа и оптимального синтеза конструкций РЭС с применением современных САПР, постановку задач проектирования функциональных блоков, модулей, устройств, систем и комплексов электронных средств с учетом тепловых характеристик конструкций РЭС.
	уметь проектировать функциональные блоки, модули, оптимизировать тепловые характеристики конструкций при проектировании.
ПК-2	владеть задачами проектирования функциональных блоков, модулей, устройств, систем и комплексов электронных средств, моделирования и оптимизации современной радиоэлектронной аппаратуры с применением средств автоматизированного проектирования с учетом тепловых характеристик конструкций.

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

Общая трудоемкость дисциплины «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС» составляет 5 зачетных единицы.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	90	90
В том числе:		
Лекции	36	36
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
<b>Самостоятельная работа</b>	54	54
Курсовой проект	+	+
Часы на контроль	36	36
Вид промежуточной аттестации – зачет		
Вид промежуточной аттестации – экзамен	+	+
Общая трудоемкость час	180	180
зач.ед.	5	5

##### Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр
		2
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	16	16
В том числе:		
Лекции	4	4
Практические занятия (ПЗ)	6	6
Лабораторные работы (ЛР)	6	6
<b>Самостоятельная работа</b>	155	155
Курсовой проект	+	+
Контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации – зачет		
Вид промежуточной аттестации – экзамен	+	+
Общая трудоемкость час	180	180
зач.ед.	5	5

## 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

### 5.1. Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

#### очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Все го, час
1	Системы обеспечения тепловых режимов РЭС Классификация СОТР.	Введение. Классификация СОТР. Классификация систем обеспечения теплового режима: по способу установки, допустимому диапазону температур элементов и узлов, по роду рабочего вещества, по основному виду теплопередачи, характеру контакта теплоносителя с источником тепла.	8	4	7	10	29
2	Основные элементы систем охлаждения.	Состав системы охлаждения: агрегаты для создания движения рабочего вещества – теплоносителя - нагнетатели (вентиляторы, компрессоры, насосы), теплообменники, устройство для транспортирования и содержания рабочих веществ (трубопровод, арматура, баки), рабочие вещества (теплоносители). Выбор конструкции теплообменных аппаратов.	6	4	7	11	28
3	Выбор системы охлаждения 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.	8	4	7	11	30
4	Специальные устройства охлаждения.	Термоэлектрические охлаждающие устройства, Охлаждение с помощью фазовых переходов, тепловые трубы, вихревые трубы, термосифонное охлаждение, турбохолодильник.	6	4	7	11	28
5	Моделирование тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС	Анализ тепловых режимов РЭС. Математические модели для расчета тепловых полей в объемных и плоских конструкциях РЭС. Методы анализа тепловых режимов блоков, микросхем и микросборок.	8	2	8	11	29
<b>Итого</b>			<b>36</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>54</b>	<b>144</b>

#### заочная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	Лаб. зан.	СРС	Все го, час
1	Системы обеспечения тепловых режимов РЭС Классификация СОТР.	Введение. Классификация СОТР. Классификация систем обеспечения теплового режима: по способу установки, по допустимому диапазону температур элементов и узлов, по роду рабочего вещества, по основному виду теплопередачи, по характеру контакта теплоносителя с источником тепла.	1			31	32
2	Основные элементы систем охлаждения.	Состав системы охлаждения: агрегаты для создания движения рабочего вещества – теплоносителя - нагнетатели (вентиляторы, компрессоры, насосы), теплообменники, устройство для транспортирования и содержания рабочих веществ (трубопровод, арматура, баки), рабочие вещества (теплоносители). Выбор конструкции теплообменных аппаратов.	1		4	31	36
3	Выбор системы охлаждения 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.	1		4	31	36
4	Специальные устройства охлаждения.	Термоэлектрические охлаждающие устройства, Охлаждение с помощью фазовых переходов, тепловые трубы, вихревые трубы, термосифонное охлаждение, турбохолодильник.				31	31
5	Моделирование тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС	Анализ тепловых режимов РЭС. Математические модели для расчета тепловых полей в объемных и плоских конструкциях РЭС. Методы анализа тепловых режимов блоков, микросхем и микросборок.	1		4	31	36
<b>Итого</b>			<b>4</b>		<b>12</b>	<b>155</b>	<b>171</b>

## **5.2 Перечень лабораторных работ**

1. Исследование температурного поля интегральной микросхемы.
2. Исследование температурного поля микросборок.
3. Моделирование и оптимизация тепловых режимов активных элементов при воздушном охлаждении.
4. Моделирования и оптимизации тепловых характеристик блоков РЭС.
5. Моделирование и оптимизация тепловых характеристик стоек РЭС.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 3 семестре (очное обучение), во 2 семестре (заочное обучение).

Примерная тематика курсового проекта: «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС».

Темой курсового проекта является расчет тепловых режимов блоков и элементов ЭС 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 конструкции
- Моделирование тепловых характеристик конструкций

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

Контрольные работы не предусмотрены учебным планом.

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

### **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 для очной и заочной форм обучения оцениваются по системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПК-3	знать математические модели и методы исследования для решения задач многовариантного анализа и оптимального синтеза конструкций РЭС с применением современных САПР, постановку задач проектирования функциональных блоков, модулей, устройств, систем и комплексов электронных средств с учетом тепловых характеристик конструкций РЭС.	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 проектировать функциональные блоки, модули, оптимизировать тепловые характеристики конструкций при проектировании.	Решение стандартных практических задач.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть задачами проектирования функциональных блоков, модулей, устройств, систем и комплексов электронных средств, моделирования и оптимизации современной радиоэлектронной аппаратуры с применением средств автоматизированного проектирования с учетом тепловых характеристик конструкций.	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 для очного и во 2 семестре заочного обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-3	знать математические модели и методы исследования для решения задач многовариантного анализа и оптимального синтеза конструкций РЭС с применением современных САПР, постановку задач проектирования функциональных блоков, модулей, устройств, систем и комплексов электронных	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

	средств с учетом тепловых характеристик конструкций РЭС.					
	уметь проектировать функциональные блоки, модули, оптимизировать тепловые характеристики конструкций при проектировании.	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 задачами проектирования функциональных блоков, модулей, устройств, систем и комплексов электронных средств, моделирования и оптимизации современной радиоэлектронной аппаратуры с применением средств автоматизированного проектирования с учетом тепловых характеристик конструкций.	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. Что представляет собой методология решения задач конструирования РЭС?

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) комплексная структура мероприятий, способствующая решению задачи в процессе успешного ее применения;
- б) это набор действий, приводящий к решению задачи;
- в) это учение о логической организации, методах и средствах какой-либо деятельности, логика познания чего-либо, логика использования методов, моделей, средств для достижения необходимого результата;
- г) все ответы неправильные.

#### 2. Вместо одновременного проектирования подсистем в практике производят последовательное проектирование подсистем с...

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) запаздыванием;
- б) возвратом;
- в) последовательной обратной связью;
- г) все варианты правильные.

**3. Особый вид проектирования, когда объектом действия является конструкция РЭС это:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) конструирование РЭС;
- б) разработка техпроцесса;
- в) тепловой расчет;
- г) расчет прочности.

**4. Какими характеристиками оценивают жизнь РЭС? Ва-**

рианты ответа (выберите один или несколько правильных): а)

- прочность РЭС, качество РЭС;
- б) механическая стойкость РЭС, качество конструкции;
- в) проектирование и конструирование;
- г) качество РЭС, способность РЭС удовлетворять потребностям общества по функционированию, задержка удовлетворения потребности общества в РЭС.

**5. Для чего необходима систематизация и классификация факторов, влияющих на проектирование РЭС?**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) чтобы наиболее эффективно организовать моделирование;
- б) для контроля над качеством конструкций РЭС;
- в) для выявления ошибок при проектировании;
- г) чтобы наиболее эффективно организовать процесс проектирования при определенном уровне знаний о нем.

**6. Какие факторы влияют на процесс проектирования и определяют результат?**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) системные и условия эксплуатации;
- б) факторы окружающей среды;
- в) человеческие факторы;
- г) все перечисленные факторы.

**7. Основные проблемы конструирования и производства конструкций РЭС:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) миниатюризация;
- б) повышение КПД;
- в) увеличение размеров радиоэлектронных модулей;
- г) повышение потребляемой мощности конструкций РЭС.

**8. Этапы развития конструкций РЭС:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) системотехнический;
- б) математический;
- в) схемотехнический;
- г) конструкторско-технологический;

д) инновационный.

**9. Показатели РЭС:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) транспортно-заготовительные;
- б) конструктивные;
- в) технологические;
- г) инновационные
- д) экономические;
- е) эксплуатационные.

**10. Сколько существует категорий размещения ЭС на объекте?**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) 3;
- б) 4;
- в) 5;
- г) 6.

**11. Наличие паразитных связей в ЭС обусловлено:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) увеличением плотности токов в схемах;
- б) применением систем на кристалле;
- в) повышении плотности электро монтажа в пределах полупроводниковых ИМС;
- г) применение многоуровневой разводки;
- д) снижение напряжения питания.

**12. ТЗ на изготовление ЭС формируется на основании ...**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) назначения изделия;
- б) заявки на разработку;
- в) технических требований;
- г) желания заказчика.

**13. Какие из групп факторов, определяющих ТЗ, не являются системными факторами?**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) назначения;
- б) объект-носитель;
- в) условия и ограничения технологии производства;
- г) человек-оператор.

**14. Места установки РЭС, характеризующиеся наименьшим и наибольшим коэффициентом влияния на надежность.**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) лабораторные благоустроенные помещения и мощная ракета;
- б) лабораторные благоустроенные помещения и самолет;
- в) стационарные наземные помещения и мощная ракета;
- г) защищенные отсеки кораблей и управляемый снаряд.

**15. Под механическим колебанием элементов аппаратуры или конструкции в целом понимается:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) перегрузка;

- б) вибрация;
- в) тряска;
- г) толчки.

## **7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач**

**1. Выступающая часть монтажного провода над поверхностью платы не должна превышать:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) 0,5-1,6 мм;
- б) 1,6-4 мм;
- в) 0,2 мм;
- г) 4-56 мм.

**2. Сколько Мбит/сек без потерь способна пропускать волоконно-оптическая линия:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) до 20;
- б) до 2000;
- в) до 500;
- г) до 2.

**3. Назовите металл с самой высокой коррозионной стойкостью:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) медь (Cu);
- б) железо (Fe);
- в) алюминий (Al);
- г) свинец (Pb).

**4. Защиты полыми оболочками приводит к:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) повышению трудоемкости в 2-3 раза по сравнению с монолитными;
- б) стоимость оболочек составляет 20-45% стоимости изделия;
- в) все ответы правильные;
- г) значительному уменьшению плотности компоновки.

**5. Влияние влаги на РЭС приводит к изменению свойств материалов элементов Г конструкции S, в свою очередь приводящие к изменению:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) свойств самих элементов Г, а затем - систем S;
- б) свойств системы S, а затем элементов Г;
- в) повышению расходов на эксплуатацию;
- г) все ответы неправильные.

**6. Нормальными климатическими условиями принято считать температуру...**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) от  $-1\text{ C}^0$  до  $10\text{ C}^0$ ;
- б) от  $-15\text{ C}^0$  до  $45\text{ C}^0$ ;
- в) от  $+3\text{ C}^0$  до  $+25\text{ C}^0$ ;
- г) от  $15\text{ C}^0$  до  $30\text{ C}^0$ .

**7. К чему приводит наличие влажности на поверхности полупроводниковых конструкций РЭС?**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) к электрохимической и химической коррозии;
- б) к накоплению зарядов в полупроводнике под влиянием поверхностных ионов;
- в) к увеличению диэлектрической проницаемости;
- г) к потере и утечке в диэлектриках.

**8. Виброчастотная характеристика объекта позволяет:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) определить собственную частоту;
- б) определить коэффициент передачи колебаний;
- в) при известном диапазоне внешних воздействий - определить защищенность объекта и предложить способ повышения защищенности;
- г) все ответы не полные.

**9. Нормальными условиями принято считать**

- а)  $p=101325$  Па,  $T=273,15$  К
- б)  $p=760$  мм.рт.ст,  $t=0$  °С
- в)  $p=101325$  Па,  $t=20$ °С
- г)  $p=101,325$  Па,  $T=273,15$  К

**10. Вибрацию свыше 140 дБ считают:**

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- а) полигармонической вибрацией;
- б) линейным ускорением;
- в) гармонической вибрацией;
- г) акустическим шумом.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

**1. В процессе приработки электронных средств из 120 штук вышло из строя 10. Требуется вычислить вероятность исправной работы и вероятность отказа ЭС на начальном этапе эксплуатации.**

Варианты ответа:

- а) 0,68 и 0,02;
- б) 0,72 и 0,04;
- в) 0,76 и 0,05;
- г) 0,82 и 0,07;
- д) 0,92 и 0,08.

**2. Известно, что вероятность исправной работы ЭС на интервале времени от 100 до 200 часов составила 0,98. Число испытываемых изделий  $N_0=1000$  шт., число отказов в указанном интервале – 5. Требуется найти число ЭС, исправных к моменту 100 и 200 часов.**

Варианты ответа:

- а) 220 и 215;
- б) 225 и 235;
- в) 230 и 240;
- г) 240 и 240;
- д) 250 и 245.

**3. Интенсивность отказов радиоэлектронных компонентов зависит от времени и выражается функцией ожидаемой интенсивности отказа  $\lambda(t) = \frac{k^2 t}{1+kt}$ . Требуется найти зависимость от времени вероятности безотказной работы изделия. Определить вероятность безотказной работы за 100 часов, если  $k=2 \cdot 10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ .**

Варианты ответа:

- а) 0,975;
- б) 0,897;
- в) 0,998;
- г) 0,796;
- д) 0,97.

**4. Время восстановления ЭС равно 5 часам при вероятности безотказной работы 0,9 и времени выполнения задания  $P(t_s)=0,81$ . Требуется рассчитать: время работы; коэффициент готовности; время наработки на отказ.**

Варианты ответа:

- а) 32 часа; 0,485; 10,3 часа;
- б) 47 часов; 0,562; 12 часов;
- в) 64 часа; 0,729; 13,5 часов;
- г) 72 часа; 0,853; 15,5 часов;
- д) 82 часа; 0,922; 17,5 часов.

**5. Радиоэлектронная система состоит из пяти резервных блоков. Вероятность отказа каждого из блоков за время  $t$  равна 0,25. Требуется определить вероятность того, что за время  $t$  будет исправен хотя бы один блок; откажут все пять блоков.**

Варианты ответа:

- а) 0,011; 0,002;
- б) 0,013; 0,011;
- в) 0,012; 0,001;
- г) 0,015; 0,022;
- д) 0,015; 0,001.

**6. Радиоэлектронное средство состоит из трех модулей, с интенсивностями отказов:  $\lambda_1=10^{-6} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_2=10^{-5} \text{ ч}^{-1}$ ;  $\lambda_3=10^{-4} \text{ ч}^{-1}$ . Второй модуль проработал исправно 100 часов, а третий 200 часов. Первый модуль работал исправно 300 часов. Требуется найти вероятность безотказной работы всего радиоэлектронного средства за 300 часов работы.**

Варианты ответа:

- а) 0,967;
- б) 0,972;
- в) 0,981;
- г) 0,985;
- д) 0,992.

**7. Амперметр с пределами измерений  $I_n$  показывает  $I_x$ . Погрешность от подключения амперметра в цепь  $\Delta_s$ . Среднее квадратическое отклонение показаний прибора  $\sigma_I$ . Требуется рассчитать доверительный интервал для истинного значения измеряемой силы тока цепи с вероятностью  $P = 0,9544$  ( $t_p=2$ ). Исходные данные:  $I_n = 10 \text{ A}$ ,  $I_x = 9 \text{ A}$ ,  $\Delta_s = +0,4 \text{ A}$ ,  $\sigma_I = 0,4 \text{ A}$ .**

Варианты ответа:

- а) [6,2; 7,8];
- б) [6,9; 8,3];
- в) [7,8; 9,4];
- г) [8,4; 8,9];
- д) [9,0; 9,9].

**8. Определите потери в свободном пространстве сигнала с частотой 30 ГГц при распространении на расстояние 1 км в разгах и дБ.**

Варианты ответа:

- а)  $1,12 \cdot 10^{10}$  раз и 251,1 дБ;
- б)  $1,58 \cdot 10^{12}$  раз и 121,98 дБ;
- в)  $1,22 \cdot 10^9$  раз и 96,33 дБ;
- г)  $1,22 \cdot 10^{14}$  раз и 144,11 дБ;
- д)  $1,58 \cdot 10^{12}$  раз и 121,98 дБ.

**9. Требуется изолировать плоскую поверхность таким образом, чтобы потеря тепла с единицы поверхности в единицу времени была не больше  $450 \text{ Вт/м}^2$ . Под изоляцией температура поверхности  $450 \text{ }^\circ\text{C}$ , а температура внешней поверхности теплоизоляции  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ . Требуется определить толщину изоляции если: а) изоляция сделана из совелита ( $\lambda=0,09+0,0000872 \cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ); б) изоляция сделана из асботермита ( $\lambda=0,109+0,000146 \cdot t \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$ ).**

Варианты ответа:

- а)  $\delta_1=0,0994 \text{ м}$ ;  $\delta_2=0,129 \text{ м}$ ;
- б)  $\delta_1=0,0788 \text{ м}$ ;  $\delta_2=0,11 \text{ м}$ ;
- в)  $\delta_1=0,12 \text{ м}$ ;  $\delta_2=0,33 \text{ м}$ ;
- г)  $\delta_1=1,2998 \text{ м}$ ;  $\delta_2=0,312 \text{ м}$ ;
- д)  $\delta_1=0,0054 \text{ м}$ ;  $\delta_2=0,009 \text{ м}$ .

**10. Пластинчатый радиатор длиной  $l=0,2 \text{ м}$ , шириной  $a=0,15 \text{ м}$  охлаждается обтекаемым потоком воздуха с температурой  $t_0=20^\circ\text{C}$ . Скорость набегающего потока воздуха  $w_0=3 \text{ м/с}$ . Температура поверхности радиатора  $t_p=90^\circ\text{C}$ . Найдите коэффициент теплоотдачи радиатора и количество отдаваемой теплоты. Следует считать режим движения воздушной среды ламинарным и охлаждается только одна сторона радиатора.**

Варианты ответа:

- а) Коэффициент теплоотдачи  $\alpha=2,65 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $Q=8 \text{ Вт}$ ;
- б) Коэффициент теплоотдачи  $\alpha=4,87 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $Q=10 \text{ Вт}$ ;
- в) Коэффициент теплоотдачи  $\alpha=5,32 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $Q=12 \text{ Вт}$ ;
- г) Коэффициент теплоотдачи  $\alpha=6,12 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $Q=14 \text{ Вт}$ ;
- д) Коэффициент теплоотдачи  $\alpha=7,52 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$ ;  $Q=15 \text{ Вт}$ .

#### **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. Классификация систем охлаждения РЭА.
2. Контактный способ охлаждения. Естественное охлаждение. Принудитель-

ное воздушное охлаждение.

3. Жидкостные системы охлаждения. Испарительные системы охлаждения.
4. Выбор способа охлаждения РЭА.
5. Теплообменные устройства. Принцип расчета. Расчет теплообменников.
6. Разновидности теплообменных устройств, используемых в системах терморегулирования РЭА.
7. Принцип действия вихревой трубы (Эффект Ранка).
8. Принцип действия холодильной машины компрессионного типа.
9. Конструкция термосифона.
10. Использование для охлаждения РЭА тепловых труб, их принцип действия и конструкция.
11. Специальные устройства для охлаждения.
12. Классификация систем обеспечения теплового режима (СОТР).
13. Основные элементы систем охлаждения.
14. Моделирование температурного поля и расчет надежности интегральной микросхемы.
15. Моделирование температурного поля и расчет надежности микросборок.
16. Моделирование и оптимизация тепловых режимов активных элементов при воздушном охлаждении.
17. Моделирования и оптимизации тепловых характеристик блоков РЭС.
18. Моделирование и оптимизация тепловых характеристик стоек РЭС.
19. Моделирования температурных режимов и выбор типа радиаторов.
20. Анализ тепловых режимов РЭС.
21. Математические модели для расчета тепловых полей в объемных и плоских конструкциях РЭС.
22. Способы интенсификации теплообмена радиоэлектронных средств.
23. Методы анализа при теплофизическом проектировании элементов.
24. Моделирование и оптимизация тепловых процессов при выборе конструкции теплообменных аппаратов.

#### **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.

### 7.2.4 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции (части)	Наименование оценочного средства
1	Системы обеспечения тепловых режимов РЭС Классификация СОТР.	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Основные элементы систем охлаждения.	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
3	Выбор системы охлаждения и способы обеспечения тепловых режимов	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Специальные устройства охлаждения.	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
5	Моделирование тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС	ПК-3	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....

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

Тестирование осуществляется с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 15 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 15 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 15 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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

1. Тепловое проектирование радиоэлектронных средств [Электронный ресурс] / Верба В. С., Удалов А. И., Нефедов В. И.. — М.: МИРЭА, 2005. — 184 с.: ил. — Электрон. публикация (1 файл: 1321,8 Кб) — Режим доступа: <http://library.mirea.ru/share/76>
2. Самойленко Н.Э. Методы нелинейного программирования в задачах проектирования РЭС: учеб. Пособие/ Воронеж: ФГБОУ ВПО “Воронежский государственный технический университет”, 2006. 93 с.
3. Основы теплообмена в радиоэлектронных системах : Учеб. пособие / А. И. Удалов. — М.: МИРЭА, 2002. — 58 с.: ил — Режим доступа: <http://library.mirea.ru/books/23594>
4. Тепловое проектирование радиоэлектронных средств : Учеб. пособие / А. И. Удалов. — М.: МИРЭА, 2007. — 212 с.: ил. — Библиогр.: с. 205-207 (29 назв.) ISBN 978-5-7339-0634-8 — Режим доступа: <http://library.mirea.ru/books/40092>
5. Шуваев В. А., Муратов А. В., Макаров О. Ю. Методы обеспечения тепловых режимов при проектировании радиоэлектронных средств : Учеб. пособие учеб. пособие./ ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет»; Воронеж, 2008. 147 с.
6. Ламанов А.И. Защита радиоэлектронных средств от вредного воздействия внешних факторов [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ламанов А.И.— Электрон. текстовые данные.— Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана, 2012.— 80 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/31400.html>.— ЭБС «IPRbooks»
7. Ципина Н.В., Шуваев В.А. Моделирование тепловых характеристик конструкций РЭС: методические указания к лабораторным работам/ ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет; сост. Воронеж, 2013. 22 с. 291-2013
8. Муратов А.В., Ципина Н.В. Теплофизические процессы в радиоэлектронных устройствах и приборах: учеб. пособие / Воронеж: ФГБОУ ВПО “Воронежский государственный технический университет”, 2012. 135 с.
9. Юрков Н.К. Технология производства электронных средств ЭБС «Лань» 2014. 480 с.
10. Ципина Н.В., Турецкий А.В. Методические указания к практическим работам по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” направление 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», всех форм обучения/ ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; Воронеж, 2016. 19 с.
11. Ципина Н.В., Турецкий А.В. Моделирование и оптимизация тепло-

вых характеристик конструкций РЭС: методические указания к лабораторным работам по дисциплине “Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС ” направление 11.04.03 «Конструирование и технология электронных средств», всех форм обучения / ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет; Воронеж, 2016. 22 с.

12. Клуникова Ю.В. Моделирование конструкций и технологических процессов производства электронных средств [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Ю.В. Клуникова [и др.].— Электрон. текстовые данные.— Ростов-на-Дону, Таганрог: Издательство Южного федерального университета, 2018.— 124 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/87730.html>. — ЭБС «IPRbooks»

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

ПО: MicrosoftWord, MicrosoftExcel, InternetExplorer, , Math CAD, Math Lab, программный комплекс КОМПАС 3D LT.

Современная профессиональная база данных: Mathnet.ru, e-library.ru. Информационные справочные системы: dist.sernam.ru, Wikipipedia, <http://eios.vorstu.ru/>

ПО: windows, open office, Acrobat reader Internet Explorer, программный комплекс «Компас 3D LT» версии 12 и выше.

Современная профессиональная база данных

Бесплатная база данных ГОСТ <https://docplan.ru/>

Электронная библиотека [www.elibrary.ru/](http://www.elibrary.ru/)

Электронная библиотечные системы <https://www.iprbookshop.ru/>  
<https://e.lanbook.com/>

Информационные справочные системы и сайты

ChipFind Документация <http://www.allcomponents.ru/>

Группа компаний «Промэлектроника» <https://www.promelec.ru/>

«Чип-Дип» <https://www.chipdip.ru/>

Электронная информационно-обучающая система ВГТУ  
<https://old.education.cchgeu.ru/>

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

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная видеопроектором с экраном и пособиями по профилю.

Компьютерный класс, оснащенная ПЭВМ с установленным программным обеспечением, ауд. 226/3.

Видеопроектор с экраном в ауд. 234/3.

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Моделирование и оптимизация тепловых характеристик конструкций при проектировании РЭС» читаются лекции, проводятся лабораторные и практические занятия.

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 его 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.

- Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению 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

виум – 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.

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.
Практические занятия	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.
Подготовка к дифференцированному зачету и экзамену	При подготовке к зачету и экзамену необходимо ориентироваться на конспекты лекций, рекомендуемую литературу и решение задач на практических занятиях.

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесе- ния измене- ний	Подпись заведующего ка- федрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			