

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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



УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета

/В.А. Небольсин/

1 августа 2021 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 / 4 года 11 месяцев

**Форма обучения** Очная / Заочная

**Год начала подготовки** 2020

Автор программы

Н.В. Ципина

Заведующий кафедрой

А.В. Башкиров

Руководитель ОПОП

А.А. Пирогов

**Воронеж 2021**

## 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 радио-

	электронных 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

##### Очная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		3
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	72	72
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
Лабораторные работы (ЛР)	36	36
<b>Самостоятельная работа</b>	144	144
Курсовой проект	+	+
Контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации – экзамен	36	36
Общая трудоемкость	час 252	252
	зач. ед. 7	7

##### Заочная форма обучения

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	20	20
В том числе:		
Лекции	8	8
Практические занятия (ПЗ)	4	4
Лабораторные работы (ЛР)	8	8
<b>Самостоятельная работа</b>	223	223
Курсовой проект	+	+
Контрольная работа		
Вид промежуточной аттестации – экзамен	9	9
Общая трудоемкость	час 252	252
	зач. ед. 7	7

#### 5 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

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	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.	4	2	6	24	36
2	Сложный теплообмен	Понятие сложного теплообмена. Уравнение теплового баланса. Теплопередача через плоскую однослойную стенку. Теплопередача через плоскую многослойную стенку. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку. Передача тепла через ребренную поверхность (радиатор)	4	2	6	24	36
3	Влагообмен.	Законы Фика. Методика расчета влагозащиты. Способы влагозащиты полимерными материалами. Герметизация. Способы герметизации.	4	2	6	24	36
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.	2	4	6	24	36
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.	2	4	6	24	36

		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					
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	2	4	6	24	36
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>144</b>	<b>216</b>

### Заочная форма обучения

№ 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 тепломассообмена в природе. Общая характеристика тепломассообмена 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.	2	-	2	38	42
2	Сложный теплообмен	Понятие сложного теплообмена. Уравнение теплового баланса. Теплопередача через плоскую однослойную стенку. Теплопередача через плоскую многослойную стенку. Теплопередача через многослойную цилиндрическую стенку. Передача тепла через ребренную поверхность (радиа-	1	-		37	38

		тор)					
3	Влагообмен.	Законы Фика. Методика расчета влагозащиты. Способы влагозащиты полимерными материалами. Герметизация. Способы герметизации.	1	-		37	38
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.	1	-	2	37	40
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	2	2	2	37	43
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	1	2	2	37	42
<b>Итого</b>			<b>8</b>	<b>4</b>	<b>8</b>	<b>223</b>	<b>243</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.

Моделирование 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 ребренным 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 включает 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 следующей 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 лабораторных работ.	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, написание курсового проекта	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, написание курсового проекта	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 лабораторных работ.	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, написание курсового проекта	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, написание курсового проекта	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 очной формы обучения, в 6 семестре для заочной формы обучения по системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;



**«неудовлетворительно».**

<b>Комп е-тенция</b>	<b>Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции</b>	<b>Критерии оценивания</b>	<b>Отлично</b>	<b>Хорошо</b>	<b>Удовл.</b>	<b>Неудовл.</b>
ПК-2	знать тепловые режимы блоков и элементов ЭС и выбор конструкции радиаторов с использованием современных систем автоматизированного проектирования.	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% 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:

- a) Экспериментальным
- b) Теоретическим
- c) Аналитическим

2. Большинство реальных нагретых зон РЭС являются системой с:

- a) 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. Эффективность принудительного воздушного охлаждения тем больше:

- a) чем выше температура обдувающего воздуха и чем больше его скорость
- b) чем ниже температура обдувающего воздуха и чем больше его скорость
- c) чем ниже температура обдувающего воздуха и чем меньше его скорость

5. Выбор способа охлаждения на ранней стадии конструирования:

- a) дает возможность оценить вероятность обеспечения заданного по ТЗ теплового режима РЭС
- b) дает возможность оценить точность обеспечения заданного по ТЗ теплового режима РЭС
- c) не дает возможность оценить вероятность или точность обеспечения заданного по ТЗ теплового режима РЭС

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

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

7. Диапазон изменения температуры окружающей среды от -60 до +60 °С характерен для:

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

8. Что такое термостойкость?

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. Тепловая энергия, выделяющаяся в системе, приводит к:

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

10. Для большинства диэлектриков с повышением температуры:

a) диэлектрическая проницаемость увеличивается, а тангенс угла потерь уменьшается

b) диэлектрическая проницаемость уменьшается, а тангенс угла потерь увеличивается

c) диэлектрическая проницаемость и тангенс угла потерь не меняются

11. Что называется гигроскопичностью?

- a) Способность материала поглощать водяные пары из воздуха
- b) Способность материала выделять водяные пары
- c) 1 + 2

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

- a) абсолютная влажность
- b) влажность
- c) относительная влажность

13. Нормальной относительной влажностью считается влажность, равная

- a) 60-70 %
- b) 70-80 %
- c) 80-90 %

14. Процесс поглощения влаги поверхностью материала называется:

- a) абсорбция
- b) адсорбция
- c) сорбция

15. Гидрофобные – это материалы, поверхность которых:

- a) не смачивается водой
- b) смачивается водой
- c) отталкивает воду

16. Пленка воды, образующаяся на поверхности диэлектрика:

- a) улучшает его электрические параметры
- b) ухудшает его электрические параметры
- c) не влияет на его электрические параметры

Ответ 2

17. Явление конвекции заключается в том, что

- a) обмен энергией происходит от непосредственного обмена энергией (теплом) между соседними атомами твёрдого тела или соприкасающимися группами атомов
- b) обмен энергией между двумя макроскопическими телами происходит посредством электромагнитных волн
- c) перенос тепловой энергии осуществляется перемещением групп атомов или молекул

18. Что такое теплопроводность?

- a) Обмен энергией посредством электромагнитных волн
- b) Передача путём непосредственного обмена энергией между соседними атомами
- c) Перенос тепловой энергии перемещением групп атомов или молекул

19. Что такое тепловой поток?

- a) Совокупность значений температуры во всех точках тела
- b) Количество тепла, переносимого через какую-либо изотермическую поверхность в единицу времени
- c) Предел отношения изменения температуры к изменению расстояния между изотермами

20. Наибольшее изменение температуры происходит при переходе от изотермы к изотерме:

- a) по нормали
- b) по касательной
- c) изменение температуры вообще не происходит

21. Процесс теплопроводности неразрывно связан:

- a) с распространением температуры внутри тела
- b) с распространением температуры вокруг тела
- c) не связан с распространением температуры

22. Конвективным теплообменом, или теплоотдачей, называется:

- a) процесс переноса тепла между поверхностью твёрдого тела, с одной стороны, и жидкостью или газом, с другой
- b) процесс переноса тепла между поверхностями твёрдых тел
- c) процесс переноса тепла между жидкостью и газом

23. Турбулентным режимом движения среды называется режим когда:

- a) частицы движутся параллельным потоком в канале параллельно стенкам
- b) частицы в поступательно перемещающейся массе движутся хаотически
- c) происходит переход от первого режима ко второму

24. Критерий подобия Рейнольдса:

- a) отражает физические свойства жидкости
- b) характеризует интенсивность процесса конвективного теплообмена между жидкостью и поверхностью твердого тела
- c) определяет характер течения жидкости и представляет собой отношение сил инерции и вязкости

25. При ламинарном движении среды максимальной скоростью движения обладают:

- a) пристеночные слои
- b) центр потока
- c) скорость всего потока примерно одинакова

26. При переходном режиме характер движения определяется:

- a) без изменения величины и направления вектора движения среды
- b) только изменением величины
- c) только направлением вектора движения среды

27. Критерий подобия, который устанавливает связь между скоростью изменения температурного поля, физическими параметрами и размерами тела:

- a) Критерий подобия Грасгофа
- b) Критерий подобия Фурье
- c) Критерий подобия Нуссельта

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Закончить предложение, вписав недостающие фразы

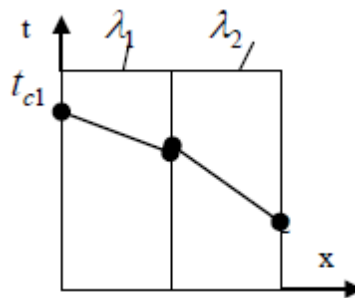
1. Наибольшее изменение температуры происходит при переходе от изотермы к изотерме \_\_\_\_\_.

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 \_\_\_\_\_.

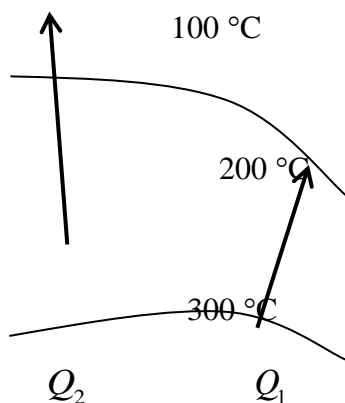
4. Совокупностью процессов испускания, переноса, поглощения, отражения и пропускания теплового излучения называется \_\_\_\_\_.

5. Сравнить коэффициенты теплопроводности слоев плоской стенки при  $\delta_1 = \delta_2$



- a)  $\lambda_1 = \lambda_2$
- b)  $\lambda_1 < \lambda_2$
- c)  $\lambda_1 > \lambda_2$

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



- a)  $Q_1 = Q_2$
- b)  $Q_1 < Q_2$
- c)  $Q_1 > Q_2$

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Сравнить степени черноты гладкой и шероховатой поверхностей.

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a)  $\varepsilon_{\text{гл}} < \varepsilon_{\text{шер}}$
- б)  $\varepsilon_{\text{гл}} = \varepsilon_{\text{шер}}$
- в)  $\varepsilon_{\text{гл}} > \varepsilon_{\text{шер}}$

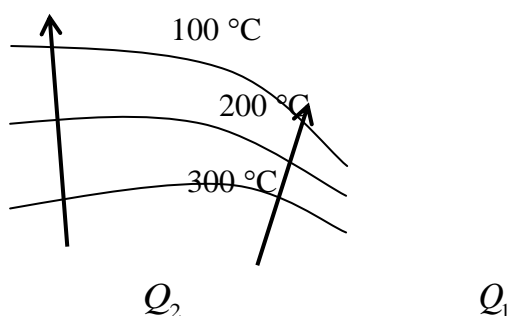
2. Указать математическое выражение 3-мерного стационарного температурного поля!

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a)  $t = f(x, \tau)$
- б)  $t = f(x)$
- в)  $t = f(x, y, z, \tau)$
- г)  $t = f(x, y, z)$

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

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):



- a)  $Q_1 = Q_2$
- б)  $Q_1 < Q_2$
- в)  $Q_1 > Q_2$

4. Чему равна приведенная степень черноты двух параллельных поверхностей, если:

$$\varepsilon_1 = 0,25; \quad \varepsilon_2 = 0,5.$$

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a) 0,14
- б) 0,8
- в) 0,2
- г) 0,5

5. Теплота передается от горячего теплоносителя к холодному через плоскую стенку поверхностью  $F =$

0,2 м<sup>2</sup>. Определить термическое сопротивление теплопередачи, если:

$$\alpha_1 = 500 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К}); \quad \alpha_2 = 50 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{К});$$

$$\delta = 0,1 \text{ м}; \quad \lambda = 1 \text{ Вт}/(\text{мК}).$$

Варианты ответа (выберите один или несколько правильных):

- a) 0,122
- б) 8,2

в) 13,1

г) 65,6

6. Плотность теплового потока через плоскую стенку толщиной  $d = 60$  мм составляет  $q = 150$  Вт/м<sup>2</sup>, перепад температур на поверхностях стенки равен  $DT = 20$  °С. Определить коэффициент теплопроводности материала стенки.

Выберите один ответ:

а) 0,25 Вт/(м×К)

б) 2,4 Вт/(м×К)

в) 0,48 Вт/(м×К)

7. Плотность теплового потока через пластину толщиной  $\delta = 20$  см составляет  $q = 500$  Вт/м<sup>2</sup>. Температура на наружной поверхности пластины  $T_{w2} = 80$  °С, коэффициент теплопроводности пластины  $\lambda = 25$  Вт/(м/К). Найти температуру на внутренней поверхности пластины.

Выберите один ответ:

а) 62,3 °С

б) 84 °С

в) 79,6 °С

г) 48 °С

8. Плотность теплового потока от горячего флюида к холодному через плоскую стенку толщиной  $\delta = 50$  мм составляет  $q = 120$  Вт/м<sup>2</sup>, перепад температур между горячим и холодным флюидами  $\Delta T = 50$  °С. Определить коэффициент теплоотдачи от горячего флюида к плоской стенке, если коэффициент теплопроводности материала стенки  $\lambda = 0,25$  Вт/(м/К) и коэффициент теплоотдачи от стенки к холодному флюиду  $\alpha_2 = 15$  Вт/(м<sup>2</sup>К).

Выберите один ответ:

а) 8,7 Вт/(м<sup>2</sup>К).

б) 5,3 Вт/(м<sup>2</sup>К).

в) 12,2 Вт/(м<sup>2</sup>К).

г) 6,7 Вт/(м<sup>2</sup>К).

9. Тепловой поток через плоскую стенку толщиной  $\delta = 80$  мм и площадью  $F = 4$  м<sup>2</sup> равен  $Q = 75$  Вт. Стенка выполнена из плексигласа с коэффициентом теплопроводности  $\lambda = 0,184$  Вт/(м/К). На внутренней поверхности стенки поддерживается температура  $T_{w1} = 30$  °С. Определить температуру на наружной поверхности стенки.

Выберите один ответ:

а) 11,9 °С

б) 25,2 °С

в) 21,8 °С

г) 28,2 °С

10. Тепловые потери через плоскую стенку составляют  $q = 1000$  Вт/м<sup>2</sup>. Определить толщину изоляции с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_2 = 0,2$  Вт/(м×К), которую необходимо наложить на плоскую стенку, при условии, что температура на наружной поверхности плоской стенки  $T_{1-2} = 200$  °С, а температура на наружной поверхности изоляции  $T_{w2} = 50$  °С.

Выберите один ответ: ■

а) 30 мм

б) 26 мм



в) 34 мм

г) 18 мм

11. Определить поверхность нагрева  $F$  в  $\text{м}^2$  рекуперативного теплообменника при прямотоке теплоносителей, если  $Q = 52422$  кВт;  $k = 60$  Вт/м<sup>2</sup>;  $t'_1 = 825$  °С;  $t''_1 = 625$  °С;  $t'_2 = 15$  °С;  $t''_2 = 475$  °С

Выберите один ответ:

а) 3,23 м<sup>2</sup>

б) 1,82 м<sup>2</sup>

в) 2,82 м<sup>2</sup>

г) 2,23 м<sup>2</sup>

12. Найти плотность теплового потока через плоскую стенку, имеющую термическое сопротивление теплопередачи  $R_t = 3,5$  (м<sup>2</sup>·К)/Вт. Температуры со стороны горячего и холодного теплоносителей поддерживаются соответственно равными  $T_{f1} = 120$  °С и  $T_{f2} = 15$  °С.

Выберите один ответ:

а) 112 Вт/м<sup>2</sup>.

б) 26 Вт/м<sup>2</sup>.

в) 30 Вт/м<sup>2</sup>.

г) 60 Вт/м<sup>2</sup>

### **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 оребренной 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**

Контролируемые разделы (темы)	Код	Наименование оценочного
-------------------------------	-----	-------------------------

дисциплины	контролируемой компетенции	средства
Основные понятия и законы переноса энергии и вещества	ПК-2, ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, стандартные и прикладные задачи, требования к курсовому проекту, контрольно-измерительные материалы для экзамена
Сложный теплообмен	ПК-2, ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, стандартные и прикладные задачи, требования к курсовому проекту, контрольно-измерительные материалы для экзамена
Влагообмен.	ПК-2, ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, стандартные и прикладные задачи, требования к курсовому проекту, контрольно-измерительные материалы для экзамена
Стационарный и нестационарный тепловые режимы в приборах	ПК-2, ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, стандартные и прикладные задачи, требования к курсовому проекту, контрольно-измерительные материалы для экзамена
Выбор системы охлаждения электронных средств и способы обеспечения тепловых режимов.	ПК-2, ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, стандартные и прикладные задачи, требования к курсовому проекту, контрольно-измерительные материалы для экзамена
Тепловые и влажностные измерения.	ПК-2, ПК-3	Тест, защита лабораторных работ, стандартные и прикладные задачи, требования к курсовому проекту, контрольно-измерительные материалы для экзамена

### **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 методике 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 методике 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 методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсового проекта 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. – URL: <http://bibl.cchgeu.ru/MarcWeb2/Download.asp?>
2. Муратов, А.В. Способы обеспечения тепловых режимов РЭС : Учеб. пособие. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2007. - 98 с.
1. Ашков, Е.М. Теплофизическое проектирование радиоэлектронных средств : учеб. пособие / Е.М. Ашков, А.В. Муратов. - Воронеж : ВГТУ, 2001. - 132 с.
2. 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.– Режим доступа: [СРС\\_ТПЛ](#)
3. 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.– Режим доступа: [ТПЛ практика](#)
4. Моделирование температурных полей микроэлектронных 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.– Режим доступа: [ТРЛ приборы](#)
  5. 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. – Режим доступа: [СРС ТПЛ](#)
  6. 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:**

Перечень ПО, включая перечень лицензионного программного обеспечения:

ОС Windows 7 Pro;

Media Player Classic Black Edition;

Google Chrome;  
Microsoft Office 64-bit  
Компас 3D;  
DesignSpark PCB;  
Altium Designer  
Ресурсы информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»:  
<http://window.edu.ru> – единое окно доступа к информационным ресурсам;  
<http://www.edu.ru/> – федеральный портал «Российское образование»;  
Образовательный портал ВГТУ;  
<http://www.iprbookshop.ru/> – электронная библиотечная система IPRbooks;  
[www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru) – научная электронная библиотека

Профессиональные базы данных, информационные справочные системы:

<http://www.kit-e.ru/> – Электронная версия журнала «Компоненты и технологии» и архив с 1999 года;  
<http://window.edu.ru/resource/278/45278> – Федеральный портал «Инженерное образование»

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

Учебная аудитория (компьютерный класс), укомплектованная следующим оборудованием:

- персональные компьютеры с установленным ПО, подключенные к сети Интернет — 11 шт.;
- принтер цветной лазерный;
- 3D принтер «Альфа-2»;
- доска магнитно-маркерная поворотная;
- цифровой осциллограф DS1052E – 3 шт.;
- анализатор спектра DSA815;
- генератор VC2002;
- источник питания DP832 – 4 шт.;
- источник питания NY 1503D 2 LCD – 6 шт.;
- мультиметр DM3058E – 3 шт.

Учебная аудитория (лаборатория), укомплектованная следующим оборудованием:

- персональные компьютеры с установленным ПО, эмуляторами KP580 и EMURK286, подключенные к сети Интернет — 14 шт.;
- источник питания NY3020E- 9350 – 6 шт.;

- источник питания Б5-49 – 3 шт.;
- осциллограф GDS – 5 шт.;
- осциллограф цифровой запоминающий ОЦЗС02;
- универсальный генератор сигналов DG1022 – 4 шт.;
- цифровой осциллограф MSO2072A;
- электронная программируемая нагрузка AEL-8320 – 4 шт.;
- вольтметр В7-16А;
- частотомер MS6100;
- частотомер ЧЗ-35А

Помещение (Читальный зал) для самостоятельной работы с выходом в сеть «Интернет» и доступом в электронно-библиотечные системы и электронно-информационную среду, укомплектованное следующим оборудованием:

- персональные компьютеры с установленным ПО, подключенные к сети Интернет — 10 шт.;
- принтер;
- магнитно-маркерная доска;
- переносные колонки;
- переносной микрофон

## **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, ознакомится 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.

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



	<p>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.</p>
Практическое занятие	<p>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.</p>
Лабораторная работа	<p>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.</p>
Самостоятельная работа	<p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <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	<p>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.</p>