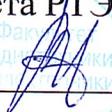


**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета РТЭ

 / Небольсин В.А. /

14 января 2025 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Физическое материаловедение»**

**Направление подготовки** 22.03.01 Материаловедение и технологии материалов

**Профиль** Технологии неорганических и полимерных композиционных материалов

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2025

**Автор программы**



М.А. Авдеев

**Заведующий кафедрой  
Твердотельной электроники**



В.А. Небольсин

**Руководитель ОПОП**



Г.Ю. Вострикова

Воронеж 2025

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

Получение студентами сведений о зависимостях объемных и поверхностных свойств материалов от характера химической связи, химического и фазового состава, структурных несовершенств, и управлении свойствами материалов.

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

Создание материалов с заданными свойствами и управления последними путем воздействия на химический состав, фазовое и структурное состояние материала.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физическое материаловедение» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физическое материаловедение» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен применять знания об основных типах современных неорганических и органических материалов, принципах их выбора для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения

ПК-7 - Способен использовать на практике современные представления о влиянии микро- и нано-структуры материала на его свойства, взаимодействие материала с окружающей средой, механическими и физическими нагрузками

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПК-5	Знать классификацию материалов по составу, свойствам и техническому назначению, основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах; основные классы материалов, требования, предъявляемые к каждому классу, и основные физические параметры, характеризующие различные материалы: проводниковые, полупроводниковые, диэлектрические, магнитные и вспомогательные; методы воздействия на свойства материалов путём изменения их состава и структуры; способы применения основных классов конструкционных материалов и материалов электронной техники Уметь выявлять, описывать и анализировать особенности диаграмм состояния многофазных систем;

	<p>выполнять физико-химический и кристаллохимический анализы сложных систем; правильно подходить к сравнительной оценке свойств материалов по их физическим, технологическим и экономическим критериям при использовании для элементов и устройств электронной техники; выполнять расчеты физических характеристик материалов; владеть физическими закономерностями, определяющими свойства и поведение материалов в различных условиях их эксплуатации, во взаимосвязи с конкретными применениями в компонентах, приборах и устройствах электронной техники; выявлять факторы, определяющие общие и специфические особенности поведения материалов, влияющие на их структуру; выбирать оптимальные параметры технологических процессов создания новых материалов и устройств с заданной структурой и свойствами; анализировать качество материала в связи с технологией получения и обработки</p> <p>Владеть навыками работы со специальной и справочной литературой (в том числе по двойным и тройным диаграммам состояния); навыками самостоятельного анализа конкретных гетерогенных технологических систем; знаниями тенденций развития материаловедения; навыками изучения свойств материалов</p>
ПК-7	<p>Знать основные классы материалов, требования, предъявляемые к каждому классу, и основные физические параметры, характеризующие различные материалы; об атомно-кристаллическом строении материалов; о структурных несовершенствах и их влиянии на свойства материалов; об основных закономерностях фазовых и структурных превращений; об основных группах проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных и вспомогательных материалов; об основных параметрах и физических свойствах промышленных материалов, особенностях их получения</p> <p>Уметь правильно подходить к сравнительной оценке свойств материалов по их физическим, технологическим и экономическим критериям при использовании для элементов и устройств электронной техники; выявлять, описывать и анализировать особенности диаграмм состояния</p>

	многофазных систем; выявлять факторы, определяющие общие и специфические особенности поведения материалов, влияющие на их структуру
	Владеть физическими закономерностями, определяющими свойства и поведение материалов в различных условиях их эксплуатации, во взаимосвязи с конкретными применениями в компонентах, приборах и устройствах электронной техники

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физическое материаловедение» составляет 9 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры	
		3	4
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	216	108	108
В том числе:			
Лекции	72	36	36
Практические занятия (ПЗ)	72	36	36
Лабораторные работы (ЛР)	72	36	36
<b>Самостоятельная работа</b>	72	36	36
<b>Курсовая работа</b>	+	+	
Часы на контроль	36	-	36
Виды промежуточной аттестации - экзамен, зачет с оценкой	+	+	+
Общая трудоемкость:			
академические часы	324	144	180
зач.ед.	9	4	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	Всего, час
1	Основы физики твердого тела	Общие вопросы физики конденсированного вещества. Элементы физической статистики. Микрочастицы и их взаимодействия. Элементы кристаллографии. Дефекты и диффузия в твердых телах. Ключевые моменты зонной теории твердых тел. Основные вопросы динамики кристаллической решетки	16	16	8	16	56
2	Фазовые превращения в материалах	Формирование структуры чистых веществ при кристаллизации. Фазы и структура в сплавах. Формирование структуры сплавов при	20	20	28	20	88

		кристаллизации. Диаграммы состояния двойных систем. Диаграммы состав – свойство. Диаграммы состояния тройных систем. Понятие о диаграммах состояния четверных систем. Аморфные и стеклообразные материалы					
3	Свойства материалов и управление свойствами	Явления на поверхности. Механические (упругие) свойства и механическое разрушение. Тепловые свойства. Электрические свойства. Магнитные свойства. Оптические свойства. Акустические свойства. Прочие специфические свойства материалов. Управление свойствами.	16	20	18	18	72
4	Промышленные материалы	Конструкционные материалы. Функциональные материалы электроники и их технологии. Наноструктурные материалы. Аморфные материалы. Керамические материалы. Перспективные направления материаловедения	20	16	18	18	72
<b>Итого</b>			<b>72</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>72</b>	<b>288</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

- Методы определения размеров, масс, плотностей твердых тел
- Построение диаграмм состояния двойных систем по данным термического анализа
- Анализ диаграмм состояния и структуры двойных систем
- Диаграмма состояния железо – углерод
- Анализ диаграмм состояния тройных систем с полной растворимостью в твердом состоянии
- Анализ диаграмм состояния тройных систем с нонвариантным эвтектическим превращением
- Анализ диаграмм состояния тройных систем с нонвариантным перитектическим превращением
- Расчет массовых и объемных долей тройных сплавов
- Основы анализа диаграмм состояния четверных систем
- Изучение микротвердости материалов
- Металлографические исследования материалов
- Изучение пьезосопротивления и тензочувствительности в металлах и полупроводниках
- Исследование типа проводимости полупроводников различными методами
- Изучение зависимости электропроводности полупроводников и диэлектриков от напряженности электрического поля
- Изучение основ термопарной термометрии
- Изучение основ термической обработки материалов
- Изучение зависимости электросопротивления проводников от температуры
- Изучение технологии получения и электрических свойств высокотемпературных сверхпроводников

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

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

Примерная тематика курсовой работы:

1. Фуллерены и фуллериты.
2. Углеродные нанотрубки.
3. Твердотельные фрактальные структуры.
4. Аморфные металлические сплавы.
5. Нанокристаллические твердые тела.
6. Наноккомпозиты.
7. Жидкие кристаллы.
8. Спиновые стекла.
9. Высокотемпературные сверхпроводники.
10. Дипольные стекла.
11. Сегнетоэластики.
12. Сегнетоэлектрики.
13. Суперионики.
14. Пьезокерамика.
15. Нитевидные кристаллы.
16. Четверные твердые растворы на основе соединения  $A^3B^5$ .
17. Электрофизические и термодинамические свойства фосфидов Ga и In.
18. Гетероструктуры полупроводников, получаемые с помощью молекулярно-лучевой эпитаксии.
19. Многослойные тонкопленочные структуры.
20. Магнитные материалы для СВЧ-диапазона.
21. Материалы с памятью формы.
22. Термоэлектрики.

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- ознакомление обучающихся с основными классами перспективных материалов и актуальных направлений физического материаловедения
- развитие у обучающихся навыков работы с научно-технической и справочной литературой
- формирование у обучающихся умений комплексной работы с диаграммами состояния реальных систем

Курсовая работа 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-5	знать классификацию материалов по составу, свойствам и техническому назначению, основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах; основные классы материалов, требования, предъявляемые к каждому классу, и основные физические параметры, характеризующие различные материалы: проводниковые, полупроводниковые, диэлектрические, магнитные и вспомогательные; методы воздействия на свойства материалов путём изменения их состава и структуры; способы применения основных классов конструкционных материалов и материалов электронной техники	Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь выявлять, описывать и анализировать особенности диаграмм состояния многофазных систем; выполнять физико-химический и кристаллохимический анализы сложных систем; правильно подходить к сравнительной оценке свойств материалов по их физическим, технологическим и экономическим критериям при использовании для элементов и устройств электронной техники; выполнять расчеты физических характеристик материалов; владеть	Решение стандартных практических задач, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	<p>физическими закономерностями, определяющими свойства и поведение материалов в различных условиях их эксплуатации, во взаимосвязи с конкретными применениями в компонентах, приборах и устройствах электронной техники; выявлять факторы, определяющие общие и специфические особенности поведения материалов, влияющие на их структуру; выбирать оптимальные параметры технологических процессов создания новых материалов и устройств с заданными структурой и свойствами; анализировать качество материала в связи с технологией получения и обработки</p>			
	<p>владеть навыками работы со специальной и справочной литературой (в том числе по двойным и тройным диаграммам состояния); навыками самостоятельного анализа конкретных гетерогенных технологических систем; знаниями тенденций развития материаловедения; навыками изучения свойств материалов</p>	<p>Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсовой работы</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>
ПК-7	<p>знать основные классы материалов, требования, предъявляемые к каждому классу, и основные физические параметры, характеризующие различные материалы; об атомно-кристаллическом строении материалов; о структурных несовершенствах и их влиянии на свойства материалов; об основных закономерностях фазовых и структурных превращений; об основных группах проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных и вспомогательных материалов; об основных параметрах и физических свойствах промышленных материалов, особенностях их получения</p>	<p>Активная работа на практических занятиях, отвечает на теоретические вопросы при защите курсовой работы</p>	<p>Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>	<p>Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах</p>

	уметь правильно подходить к сравнительной оценке свойств материалов по их физическим, технологическим и экономическим критериям при использовании для элементов и устройств электронной техники; выявлять, описывать и анализировать особенности диаграмм состояния многофазных систем; выявлять факторы, определяющие общие и специфические особенности поведения материалов, влияющие на их структуру	Решение стандартных практических задач, написание курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть физическими закономерностями, определяющими свойства и поведение материалов в различных условиях их эксплуатации, во взаимосвязи с конкретными применениями в компонентах, приборах и устройствах электронной техники	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение плана работ по разработке курсовой работы	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, 4 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ПК-5	знать классификацию материалов по составу, свойствам и техническому назначению, основные процессы в гетерогенных химико-технологических системах; основные классы материалов, требования, предъявляемые к каждому классу, и основные физические параметры, характеризующие различные материалы: проводниковые, полупроводниковые, диэлектрические, магнитные и вспомогательные;	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов

<p>методы воздействия на свойства материалов путём изменения их состава и структуры; способы применения основных классов конструкционных материалов и материалов электронной техники</p>					
<p>уметь выявлять, описывать и анализировать особенности диаграмм состояния многофазных систем; выполнять физико-химический и кристаллохимический анализы сложных систем; правильно подходить к сравнительной оценке свойств материалов по их физическим, технологическим и экономическим критериям при использовании для элементов и устройств электронной техники; выполнять расчеты физических характеристик материалов; владеть физическими закономерностями, определяющими свойства и поведение материалов в различных условиях их эксплуатации, во взаимосвязи с конкретными применениями в компонентах, приборах и устройствах электронной техники; выявлять факторы, определяющие общие и специфические особенности поведения материалов, влияющие на их структуру; выбирать оптимальные параметры технологических процессов создания новых материалов и устройств с заданными структурой и свойствами; анализировать качество материала в связи с технологией получения и</p>	<p>Решение стандартных практических задач</p>	<p>Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах</p>	<p>Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач</p>	<p>Задачи не решены</p>

	обработки					
	владеть навыками работы со специальной и справочной литературой (в том числе по двойным и тройным диаграммам состояния); навыками самостоятельного анализа конкретных гетерогенных технологических систем; знаниями тенденций развития материаловедения; навыками изучения свойств материалов	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-7	знать основные классы материалов, требования, предъявляемые к каждому классу, и основные физические параметры, характеризующие различные материалы; об атомно-кристаллическом строении материалов; о структурных несовершенствах и их влиянии на свойства материалов; об основных закономерностях фазовых и структурных превращений; об основных группах проводниковых, полупроводниковых, диэлектрических, магнитных и вспомогательных материалов; об основных параметрах и физических свойствах промышленных материалов, особенностях их получения	Тест	Выполнение теста на 90-100%	Выполнение теста на 80-90%	Выполнение теста на 70-80%	В тесте менее 70% правильных ответов
	уметь правильно подходить к сравнительной оценке свойств материалов по их физическим, технологическим и экономическим критериям при использовании для элементов и устройств электронной техники; выявлять, описывать и анализировать особенности диаграмм состояния многофазных систем; выявлять	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

факторы, определяющие общие и специфические особенности поведения материалов, влияющие на их структуру						
владеть физическими закономерностями, определяющими свойства и поведение материалов в различных условиях их эксплуатации, во взаимосвязи с конкретными применениями в компонентах, приборах и устройствах электронной техники	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

#### Вопрос 1

В отсутствие электрического поля вырожденный электронный газ в проводнике находится в равновесном состоянии и описывается равновесной функцией распределения

- а) Максвелла — Больцмана
- б) Бозе — Эйнштейна
- в) Гиббса
- г) Ферми — Дирака

#### Вопрос 2

В отсутствие электрического поля невырожденный электронный газ в проводнике находится в равновесном состоянии и описывается равновесной функцией распределения

- а) Максвелла — Больцмана
- б) Бозе — Эйнштейна
- в) Гиббса
- г) Ферми — Дирака

#### Вопрос 3

Направленное движение электронов в проводнике под действием приложенного к проводнику электрического поля называется

- а) дрейфом
- б) потоком
- в) скольжением
- г) рассеянием

#### Вопрос 4

Подвижность носителей (электронов, дырок) прямо пропорциональна

- а) времени релаксации
- б) эффективной массе
- в) постоянной решетки

г) среди перечисленных вариантов нет правильных вариантов ответа

### **Вопрос 5**

Переход электронного газа от направленного движения под действием электрического поля к равновесному состоянию после выключения этого поля называется

- а) релаксацией
- б) стабилизацией
- в) упорядочением
- г) дрейфом

### **Вопрос 6**

За время, равное времени релаксации, скорость направленного движения электронов после выключения поля уменьшается

- а) в 2 раза
- б) в  $e$  раз
- в) в  $\pi$  раз
- г) в 10 раз

### **Вопрос 7**

Для невырожденного электронного газа удельная электропроводность определяется

- а) средними величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения
- б) величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения, характерными для электронов, обладающих энергией, практически равной энергии Ферми
- в) максимальными величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения
- г) величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения, характерными для электронов, обладающих наименьшей энергией

### **Вопрос 8**

Для вырожденного электронного газа удельная электропроводность определяется

- а) средними величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения
- б) величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения, характерными для электронов, обладающих энергией, практически равной энергии Ферми
- в) максимальными величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения
- г) величинами длины свободного пробега, числа столкновений и скорости движения, характерными для электронов, обладающих наименьшей энергией

### **Вопрос 9**

Закон Видемана — Франца — Лоренца устанавливает связь между

- а) электропроводностью и электронной теплопроводностью твердых тел
- б) фононной и электронной теплопроводностью твердых тел
- в) электропроводностью твердых тел и концентрацией дефектов решетки

г) электропроводностью и электрическим сопротивлением твердых тел

### Вопрос 10

Согласно закону Видемана — Франца — Лоренца отношение электронной теплопроводности твердого тела к электропроводности пропорционально

- а)  $T^{-1}$
- б)  $T^{1/2}$
- в)  $T$
- г)  $T^2$

## 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

### Задача 1

Оценить максимальную частоту колебаний атомов меди. Дополнительные данные: для Cu характерна решетка ГЦК, модификаций нет; модуль Юнга равен 125 ГПа, плотность  $\rho = 8,96 \text{ г/см}^3$ , атомный металлический радиус составляет 0,128 нм.

### Задача 2

Молярная теплоемкость титана при комнатной температуре равна 25,1 Дж/(моль·К). Чему равна теплоемкость в расчете на одну частицу?

### Задача 3

Оцените температуру Кюри ферромагнетика, если магнитный момент атома равен  $2\mu_B$  ( $\mu_B = 9,27 \cdot 10^{-24} \text{ А} \cdot \text{м}^2$ ), постоянная Вейсса 1000, число атомов в единице объема  $8 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$ .

### Задача 4

Чему равна удельная намагниченность материала, если намагниченность составляет 400 кА/м, а плотность –  $7,5 \text{ г/см}^3$ ?

### Задача 5

Каково значение размагничивающего поля, если внешнее магнитное поле напряженностью 10 кА/м, ориентированное перпендикулярно плоскости тонкой ферромагнитной пленки, создает магнитную индукцию 0,4 Тл?

### Задача 6

Рассчитайте, используя известные закономерности, удельную электропроводность железа, если его теплопроводность при комнатной температуре составляет 67 Вт/(м × К).

### Задача 7

Удельное электрическое сопротивление металлической нанопроволоки изменилось на 30 % при уменьшении диаметра проволоки от 20 до 15 нм. Оцените длину свободного пробега электрона в массивном материале.

### Задача 8

Оцените скорость звука в стали, если модуль Юнга равен 210 ГПа, а плотность составляет  $7,8 \text{ г/см}^3$ .

### Задача 9

Кинетическая энергия  $E_k$  электрона в атоме водорода составляет порядка 10 эВ. Используя соотношение неопределенностей, оценить минимальные размеры атома.

## **Задача 10**

Приняв, что электрон находится внутри атома диаметром 0,4 нм, требуется найти (в электрон-вольтах) неопределенность энергии данного электрона.

### **7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач**

#### **Задача 1**

Оценить решеточную молярную теплоемкость алюминия при значениях температуры 2 и 700 К.

#### **Задача 2**

Оценить различными методами температуру Дебая для алюминия. Дополнительные данные: для Al характерна решетка ГЦК, модификаций нет; модуль Юнга равен 72 ГПа, температура плавления равна 933 К, молярная масса  $M = 27$  г/моль, плотность  $\rho = 2,7$  г/см<sup>3</sup>, атомный металлический радиус составляет 0,143 нм.

#### **Задача 3**

Оценить длину свободного пробега фононов для низких значений температуры, много ниже температуры Дебая, для металла (металлический радиус составляет 0,2 нм, ОЦК решетка) с атомной долей примесей, равной 0,1 %, для металла с плотностью дислокаций  $10^6$  см/см<sup>3</sup>, для монокристалла со средним размером грани 10 нм.

#### **Задача 4**

При какой температуре электронная и решеточная составляющие теплоемкости серебра равны друг другу, если коэффициент электронной теплоемкости равен  $6,8 \cdot 10^{-4}$  Дж/(моль·К<sup>2</sup>), а температура Дебая составляет 225 К?

#### **Задача 5**

Рассчитайте значение удельного электросопротивления, обусловленного атомами растворенных элементов, если при температуре 2 К значение удельного сопротивления составляет 0,7 нОм × см, при 4 К – 1,9 нОм × см, при 6 К – 3,9 нОм × см

#### **Задача 6**

При температуре 0 К алюминиевый образец имел форму кубика с длиной ребра 10 мм. Чему примерно равна длина ребра при нагреве до температуры, близкой к температуре плавления (933 К)?

#### **Задача 7**

Температура Кюри ферромагнетика равна 100 К. Во сколько раз изменится магнитная восприимчивость этого материала при нагреве от 200 до 300 К?

#### **Задача 8**

Оценить значение коэффициента теплопроводности при температуре 3 К для монокристалла с линейными размерами около 0,5 мкм, если известно, что скорость распространения звука в материале составляет 3000 м/с, температура Дебая равна 430 К, плотность материала  $\rho = 22,65$  г/см<sup>3</sup>, молярная масса  $M = 192$  г/моль.

#### **Задача 9**

Используя закон Дебая, оцените температуру Дебая ванадия по приведенным

в таблице значениям молярной теплоемкости  $C$  при разных значениях температуры  $T$ .

$T, K$	2,0	3,0	4,0	5,0
$C, 10^{-6} \text{ Дж}/(\text{моль} \cdot K)$	31,5	106,4	252,2	492,7

### Задача 10

Оценить решеточную молярную теплоемкость алюминия при значениях температуры 4,2 и 77 К.

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

Не предусмотрено учебным планом

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

Макроскопические свойства конденсированного вещества. Микроскопические свойства конденсированного вещества: экспериментальные факты. Процесс зарождения конденсированного вещества. Классификация конденсированных сред. Масштабы и размерность объектов физики конденсированного состояния. Классификация свойств и явлений в конденсированных средах. Способы описания состояния макроскопической системы (коллектива). Невырожденные и вырожденные коллективы. Число состояний для микрочастиц. Функция распределения для невырожденного газа. Функция распределения для вырожденного газа фермионов. Функция распределения для вырожденного газа бозонов. Правила статистического усреднения. Микрочастицы и их взаимодействия: типы микрочастиц. Типы микрочастиц: атомы. Типы микрочастиц: молекулы, атомарные и молекулярные ионы. Химическая связь и валентность. Энергия связи. Связь Ван-дер-Ваальса (молекулярная связь). Ковалентная связь. Смешанные ковалентные и Ван-дер-Ваальсовы связи. Ионная связь. Смешанные ионно-ковалентные связи. Металлическая связь. Водородная связь. Сопоставление различных видов связи. Макроскопические характеристики кристаллов: кристаллы, кристаллическое вещество. Макроскопические характеристики кристаллов: однородность кристаллического вещества. Макроскопические характеристики кристаллов: анизотропия кристаллического вещества. Макроскопические характеристики кристаллов: симметрия. Макроскопические характеристики кристаллов: огранение кристаллов. Микроструктура кристаллического вещества: пространственная решетка и обоснования принципа микропериодичности. Микроструктура кристаллического вещества: структурные характеристики конденсированных фаз. Кристалл как геометрическое тело. Понятие симметрии: определение симметрии. Основные изометрические преобразования пространства и символика Браве для описания их элементов. Классы симметрии кристаллов. Категория. Сингония. Основные законы геометрической кристаллографии. Трансляционная симметрия. Базис. Элементарная ячейка. Кристаллографические направления, плоскости и зоны. Индексы узлов решетки, узловых рядов (кристаллографических направлений), узловых (кристаллографических) плоскостей. Сингонии кристаллов. Решетки Браве. Ячейка Вигнера — Зейтца. Принцип плотной упаковки. Структурные

единицы кристалла. Основные типы структур простых веществ. Кристаллохимические свойства элементов. Твердые растворы и изоморфизм. Твердые растворы и их упорядочение. Электронные соединения. Структуры с ионным характером связи. Ковалентные структуры. Аморфные и стеклообразные материалы. Классификация дефектов. Точечные дефекты: дефекты по Френкелю, дефекты по Шоттки, специфика междоузлий различных типов решёток. Точечные дефекты и искажение решётки. Радиационные точечные дефекты. Дислокации: общие сведения. Вектор и контур Бюргерса. Образование дислокаций в кристалле. Движение дислокаций. Барьеры Пайерлса — Набарро. Дефект упаковки. Границы зерен. Объемные дефекты. Взаимодействие дефектов в кристаллических твердых телах: ассоциаты, комплексы. Дефекты в аморфных материалах. Механизмы диффузии в твердых телах. Диффузия в кристаллах. Макроскопическая диффузия. Законы Фика. Обобществление электронов. Энергетические зоны. Заполнение зон электронами: проводники, полупроводники и диэлектрики. Эффективная масса электрона. Электронная подсистема твердого тела и возмущающие воздействия. Гармоническое приближение. Понятие о нормальных колебаниях решетки. Колебания атомов трехмерной решетки. Спектр нормальных колебаний решетки. Понятие о фононах. Ангармонизм колебаний атомов. Кристаллизация. Гомогенная (самопроизвольная) кристаллизация. Гетерогенная (несамопроизвольная) кристаллизация. Строение металлического слитка. Полиморфные превращения. Твердые растворы. Химические соединения. Структура сплавов. Процесс кристаллизации и фазовые превращения в сплавах. Диаграммы фазового равновесия. Классификация двойных систем. Диаграммы состояния систем с моновариантными равновесиями. Диаграмма состояния системы с непрерывными рядами жидких и твердых растворов. Диаграмма состояния системы с точками экстремума на кривых ликвидуса и солидуса. Диаграмма состояния системы с бинодальной кривой. Диаграмма состояния систем с упорядоченными твердыми растворами. Диаграммы состояния систем с моно- и невариантными равновесиями. Граничные растворы на основе компонентов. Диаграмма состояния системы с эвтектическим равновесием. Диаграмма состояния системы эвтектического типа с отсутствием растворимости компонентов в твердом состоянии. Диаграмма состояния системы с перитектическим равновесием. Диаграмма состояния системы с ретроградной кривой солидуса. Диаграммы состояния систем с промежуточными фазами. Классификация промежуточных фаз. Диаграммы состояния систем с конгруэнтно плавящимися промежуточными фазами. Дальтониды и бертоллиды. Диаграммы состояния систем с инконгруэнтно плавящимися промежуточными фазами. Диаграмма состояния системы с промежуточной фазой, плавящейся конгруэнтно в промежуточной точке. Диаграммы состояния систем с промежуточными фазами, образующимися в твердом состоянии. Диаграммы состояния систем с упорядоченными промежуточными фазами. Диаграммы состояния систем с моно- и невариантными равновесиями твердых растворов на основе полиморфных

компонентов и промежуточных фаз. Полиморфизм металлов и соединений. Диаграммы состояния систем с моновариантными равновесиями твердых растворов на основе полиморфных модификаций компонентов. Диаграмма состояния системы с эвтектоидным равновесием. Диаграмма состояния системы с монотектоидным равновесием. Диаграммы состояния систем с метатектическим равновесием. Диаграммы состояния систем с полиморфными промежуточными фазами. Диаграммы состояния систем с моно- и нонвариантными равновесиями жидких растворов на основе компонентов. Условия ограниченной растворимости металлов в жидком состоянии. Диаграммы состояния систем с компонентами, кристаллизующимися из собственных расплавов. Диаграмма состояния системы с монотектическим равновесием. Диаграммы состояния систем с синтетическим равновесием. Закономерности строения диаграмм состояния двойных систем. Изображение фазовых равновесий. Комбинированные диаграммы состояния. Диаграммы состояния тройных систем. Геометрическое изображение тройных диаграмм. Концентрационный треугольник. Правила рычага и центра тяжести треугольника. Расчет шихты тройных сплавов. Классификация диаграмм состояния тройных систем. Диаграммы состояния тройных систем с неограниченной растворимостью в твердом и жидком состояниях. Пространственная диаграмма состояния простейшего типа (без экстремальных точек в двойных системах). Кристаллизация тройных сплавов-растворов. Изотермические разрезы и их свойства. Политермические разрезы и их свойства. Диаграммы состояния систем с экстремальными точками и бинадальным куполом. Пример анализа реальной системы с неограниченной растворимостью в твердом состоянии. Диаграммы состояния тройных систем с моновариантным эвтектическим равновесием. Проекция пространственной диаграммы состояния с моновариантным эвтектическим равновесием. Фазовые превращения в системе с моновариантным эвтектическим равновесием. Изотермические разрезы диаграммы с моновариантным эвтектическим равновесием. Политермические разрезы диаграммы с моновариантным эвтектическим равновесием. Правило о числе фаз в соприкасающихся фазовых областях. Пример анализа реальной системы с моновариантным эвтектическим равновесием. Диаграммы состояния тройных систем с промежуточными конгруэнтно плавящимися соединениями. Проекция пространственной диаграммы состояния с промежуточным двойным конгруэнтно плавящимся соединением. Изотермические разрезы диаграммы с промежуточным двойным конгруэнтно плавящимся соединением. Политермические разрезы диаграммы с промежуточным двойным конгруэнтно плавящимся соединением. Квазибинарные разрезы и их свойства. Триангуляция тройных диаграмм с промежуточными конгруэнтно плавящимися соединениями. Пример анализа реальной системы с квазибинарным разрезом. Диаграммы состояния тройных систем с нонвариантным перитектическим равновесием. Проекция пространственной диаграммы состояния с нонвариантным перитектическим равновесием. Фазовые превращения в системе с нонвариантным

перитектическим превращением. Изотермические разрезы диаграммы с нонвариантным перитектическим превращением. Политермические разрезы диаграммы с нонвариантным перитектическим превращением. Диаграммы состояния тройных систем с промежуточными инконгруэнтно плавящимися соединениями. Проекция пространственной диаграммы состояния с промежуточным двойным инконгруэнтно плавящимся соединением. Фазовые превращения в системе с промежуточным двойным инконгруэнтно плавящимся соединением. Изотермические разрезы диаграммы с промежуточным двойным инконгруэнтно плавящимся соединением. Политермические разрезы диаграммы с промежуточным двойным инконгруэнтно плавящимся соединением. Пример анализа реальной системы с промежуточными инконгруэнтно плавящимися соединениями. Диаграммы состояния тройных систем с ограниченной растворимостью в жидком состоянии и монотектическим равновесием. Проекция пространственной диаграммы состояния с моновариантным монотектическим превращением. Фазовые превращения в системе с моновариантным монотектическим превращением. Изотермические разрезы диаграммы с моновариантным монотектическим превращением. Политермические разрезы диаграммы с моновариантным монотектическим превращением. Диаграмма состояния с нонвариантным монотектическим превращением. Примеры анализа реальных систем с монотектическим превращением. Диаграммы состояния тройных систем с полиморфными компонентами. Диаграммы состояния с моновариантными эвтектоидным, перитектоидным и монотектоидным равновесиями. Диаграммы состояния с нонвариантными эвтектоидным, перитектоидным и монотектоидным равновесиями. Примеры реальных систем с полиморфными компонентами. Расчетные методы анализа тройных диаграмм. Построение математических моделей поверхностей ликвидуса и солидуса по экспериментальным данным методом симплексного планирования. Расчет массовых и объемных долей фаз трехфазных сплавов. Расчет границ трехфазных областей изотермических и политермических сечений. Основы термодинамического расчета тройных диаграмм состояния. Диаграммы состояния четверных систем. Элементарный закон Гука. Тензоры напряжений и деформаций и закон Гука для анизотропных твердых тел. Пластические свойства кристаллов. Деформация скольжением и двойникованием. Хрупкое разрушение. Твердость. Механические свойства твердых тел при низких температурах: Прочность металлов на растяжение при низких температурах. Металлы, которые остаются пластичными при низких температурах. Предел прочности. Теплоемкость твердого тела. Энергия тепловых колебаний решетки. Теплоемкость электронного газа. Тепловое расширение твердых тел. Теплопроводность твердых тел. Элементы зонной теории твердых тел. Дрейф электронов под действием внешнего поля. Время релаксации и длина свободного пробега. Удельная электропроводность проводника. Электропроводность невырожденного и вырожденного газов. Закон Видемана — Франца — Лоренца. Зависимость подвижности носителей заряда от температуры. Влияние температуры на электропроводность чистых

металлов. Электропроводность сплавов. Магнитное поле в твердых телах. Природа диамагнетизма, парамагнетизма, ферромагнетизма. Антиферромагнетизм. Ферромагнетизм. Магнитный резонанс. Ядерное магнитное упорядочивание. Отрицательные спиновые температуры. Структура аморфных твердых тел. Энергетический спектр некристаллических твердых тел. Дефекты в аморфных материалах. Аморфные полупроводники, диэлектрики, металлы. Основные параметры, характеризующие проводниковые материалы: удельная проводимость, температурный коэффициент удельной проводимости и др. Связь проводимости с электронной структурой материалов. Классификация проводниковых материалов. Сверхпроводящие металлы и сплавы. Высокотемпературные сверхпроводники. Области применения сверхпроводников. Тугоплавкие металлы: вольфрам, молибден, рений, тантал, ниобий, цирконий и др. Сплавы тугоплавких металлов. Благородные металлы: золото, серебро, платина, палладий. Металлы со средним значением температуры плавления: железо, никель, кобальт. Сплавы для электровакуумных приборов. Припой и флюсы. Материалы для катодов. Резистивные сплавы на основе меди: манганин, константан. Хромоникелевые сплавы. Металлы и сплавы для термопар. Неметаллические проводящие материалы: углеродистые материалы, природный графит, пиролитический углерод, контактолы. Композиционные проводящие материалы. Жаростойкие материалы для нагревательных элементов на основе карбидов и силицидов. Основные параметры, характеризующие полупроводниковые материалы: концентрация и подвижность электронов и дырок, температурный коэффициент удельной проводимости, ширина запрещенной зоны, энергия активации примесей и др. Основные требования к полупроводниковым материалам. Классификация полупроводниковых материалов по типу электропроводности, по химическому составу, по структуре. Сырьевые материалы и получение кремния. Структура и физико-химические свойства кремния. Основные марки кремния, выпускаемые промышленностью. Применение кремния. Сырьевые материалы и получение германия. Структура и физико-химические свойства германия. Основные марки германия, выпускаемые промышленностью. Применение германия. Аморфные германий и кремний. Закономерности образования двойных полупроводниковых фаз. Алмазоподобные полупроводниковые фазы. Равновесные диаграммы состояния, содержащие полупроводниковые соединения. Полупроводниковые соединения  $A^{III}B^V$ . Основные свойства. Дефекты структуры и примеси. Применение. Твердые растворы на основе полупроводникового соединения  $A^{III}B^V$ . Полупроводниковые соединения  $A^{II}B^{VI}$ . Основные свойства. Дефекты структуры и примеси. Применение. Твердые растворы на их основе. Полупроводниковые соединения  $A^{IV}B^{VI}$ . Основные свойства. Дефекты структуры и примеси. Применение. Твердые растворы на их основе. Полупроводниковые соединения  $A^I B^{VII}$ . Основные свойства. Карбид кремния. Основные физико-химические свойства. Явление политипизма. Применение. Основные параметры, характеризующие магнитные материалы: магнитная

проницаемость, индукция насыщения, остаточная индукция, коэрцитивная сила, коэффициент магнитострикции и др. Классификация магнитных материалов. Общие требования к материалам. Технически чистое железо. Электротехнические стали. Пермаллой. Технологические вопросы, связанные с применением электротехнических сталей и пермаллоев. Магнитомягкие ферриты. Магнитодиэлектрики. Аморфные металлические сплавы. Общие требования, предъявляемые к материалам. Стабильность постоянных магнитов. Намагничивание и размагничивание постоянных магнитов. Сплавы дисперсионного твердения. Магнитотвердые ферриты. Магниты из порошков. Сплавы с редкоземельными элементами. Композиционные магнитотвердые материалы. Магнитные материалы для носителей магнитной записи и воспроизведения информации. Материалы с прямоугольной петлей гистерезиса. Магнитострикционные материалы. Основные тенденции и направления дальнейшего развития материаловедения. Разработка нетрадиционных материалов для различных устройств на основе новых физических принципов.

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

*Экзамен проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.*

*1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.*

*2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов*

*3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.*

*4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.)*

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

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Основы физики твердого тела	ПК-5, ПК-7	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
2	Фазовые превращения в материалах	ПК-5, ПК-7	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому

			проекту....
3	Свойства материалов и управление свойствами	ПК-5, ПК-7	Тест, контрольная работа, защита лабораторных работ, защита реферата, требования к курсовому проекту....
4	Промышленные материалы	ПК-5, ПК-7	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, 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 курсовой работы, 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. Сапунов С.В. Материаловедение. Изд. Лань, 2015, 208 с.
2. Сорокин В.С. Материалы и элементы электронной техники. Активные диэлектрики, магнитные материалы, элементы электронной техники. СПб Лань 2016.
3. Янченко Л.И. Физическое материаловедение Учеб. пособие. Воронеж: Воронеж. гос. техн. ун-т, 2005. 207 с.
4. Сост. Ю.Е. Калинин, Л.И. Янченко Методические указания к

лабораторным работам № 1-5 по курсу «Физическое материаловедение» для бакалавров направления 223200 «Техническая физика» очной формы обучения / ВГТУ, Воронеж, 2012. 48 с. 68-2012.

5. Пасынков В.В., Сорокин В.С. Материалы электронной техники Учебник. – СПб.: Лань, 2004 г. – 368 с.

6. Калинин Ю.Е., Янченко Л.И. Методические указания к лабораторным работам № 1-5 по курсу "Физическое материаловедение" для студентов направления 140400 «Техническая физика» очной формы обучения ВГТУ, Воронеж, 2008 г.

7. Янченко Л.И. Методические указания к выполнению курсовых работ по дисциплине «Физическое материаловедение» для студентов направления 16.03.01 «Техническая физика» (профиль «Физическая электроника») очной формы обучения ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», Воронеж, 2015 № 471-2015

8. Богодухов С.И., Синюхин А.В., Козик Е.С. Курс материаловедения в вопросах и ответах. Машиностроение, 2014. -352 с. Уч. Пособ.

9. Осинцев О.Е. Диаграммы состояния двойных и тройных систем. Фазовые равновесия в сплавах. Машиностроение. Уч. пособ., 2014. 352 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:**

Microsoft Word, Microsoft Excel, Internet Explorer, компьютерная программа для расчета микротвердости металлов и полупроводников и оценки погрешностей ее измерения, графическая обработка экспериментальных данных Origin 8.0, автоматизированная обработка результатов измерений в лаборатории.

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

Для проведения лекционных занятий необходима аудитория, оснащенная плакатами и пособиями по профилю.

1. Лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. Учебно-научная лаборатория «Нанотехнологии и наноматериалы».

3. Учебно-научная лаборатория «Технология материалов электронной техники».

4. Учебно-научная лаборатория «Физических методов исследования».

5. Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума.

6. Образцы материалов с особыми свойствами. Лабораторное оборудование: печи, микроскопы, твердомеры, измерительные установки.

7. Модели кристаллических решёток.

8. Модель трехкомпонентной диаграммы состояния.  
Видеопроектор.

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

По дисциплине «Физическое материаловедение» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовая работа.

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

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета на основе диаграмм состояния, подбора материалов с заданными физическими свойствами, обусловленными структурными особенностями материала. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

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

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсовой работы, защитой курсовой работы.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; помечать 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	<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 зачетом с оценкой, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата внесения изменений	Подпись заведующего кафедрой, ответственной за реализацию ОПОП
----------	-----------------------------	----------------------------	--