

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета _____ Небольсин В.А.

«30» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Физика низкоразмерных систем»

Направление подготовки 28.03.02 Наноинженерия

Профиль Инженерные нанотехнологии в приборостроении

Квалификация выпускника Бакалавр

Нормативный период обучения 4 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2017

Автор программы _____ /Липатов Г.И./

Заведующий кафедрой
Полупроводниковой электроники и
наноэлектроники _____ /Рембеза С.И./

Руководитель ОПОП _____ /Липатов Г.И./

Воронеж 2017

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

1.1. Цели изучения дисциплины

Формирование у обучающихся знаний о фундаментальных физических эффектах, имеющих место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью, и приборном моделировании устройств на их основе.

1.2. Задачи освоения дисциплины

Знать принципы функционирования и характеристики наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур; уметь проводить приборное моделирование этих устройств.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика низкоразмерных систем» относится к дисциплинам вариативной части (дисциплина по выбору) блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика низкоразмерных систем» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 — Способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять метод математического анализа и экспериментального исследования

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать фундаментальные физические эффекты, имеющие место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью; принципы функционирования и характеристики наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур
	уметь проводить приборное моделирование этих структур
	владеть навыками расчета параметров и характеристик наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Наноэлектроника» составляет 3 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		6
Аудиторные занятия (всего)	54	54
В том числе:		

лекции	36	36
практические занятия (ПЗ)	18	18
Самостоятельная работа	54	54
Виды промежуточной аттестации — зачет	+	+
Общая трудоемкость		
академические часы	108	108
з.е.	3	3

5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий

очная форма обучения

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекции	Прак. зан.	СРС	Всего, час
1	Электронная структура наномасштабных твердых тел	Электроны как квантовые частицы. Электроны в изолированном атоме. Квантовые ямы, проволоки, точки. Плотность состояний. Транспорт носителей заряда в низкоразмерных структурах	8	2	12	22
2	Размерное квантование и квантово-размерные структуры	Принцип размерного квантования. Условия наблюдения квантовых эффектов. Типы низкоразмерных структур. Структуры с образованием электронного газа пониженной размерности. Структуры с квантовым ограничением за счет потенциала — внутреннего или внешнего электрического поля. Квантово-механическое описание квантово-размерных структур. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины. Квантово-механическое описание квантово-размерных структур. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы. Квантово-механическое описание квантово-размерных структур. Энергетические состояния в симметричных треугольной и трапециевидальной потенциальных ямах. Особенности движения частиц над потенциальным рельефом. Движение частиц в двухбарьерных квантовых структурах. Свехрешетки	16	10	28	54
3	Нанозлектронные приборы на основе квантово-размерных структур	Резонансно-туннельные приборы. Одноэлектронные приборы. Спинтронные приборы. Электронные свойства нанокристаллических структур. Нанопотоника	12	6	14	32
Итого			36	18	54	108

5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

5.3 Перечень практических занятий

1. Частица в прямоугольной потенциальной яме конечной глубины.

2. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы.
3. Рассеяние частиц на потенциальном рельефе.
- 4, 5. Особенности движения частиц над потенциальным рельефом.
6. Движение частиц в двухбарьерных квантовых структурах.
7. Гетеропереходы.
8. Резонансное туннелирование.
9. Кинетические эффекты в двумерных системах.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной работы.

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
ОПК-1	знает фундаментальные физические эффекты, имеющие место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью; принципы функционирования и характеристики нанoeлектронных устройств на базе квантово-размерных структур	Работа на практических занятиях. Тест	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет проводить приборное моделирование этих структур	Работа на практических занятиях	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет навыками расчета параметров и характеристик нанoeлектронных устройств на базе квантово-размерных структур	Работа на практических занятиях	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 6 семестре для очной формы обучения по следующей системе:

«зачтено»;

«не зачтено».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПК-1	знает фундаментальные физические эффекты, имеющие место в наноструктурах и обусловленные их пониженной размерностью; принципы функционирования и характеристики наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур	Тест	Выполнение теста на 70—100 %	Выполнение менее 70 %
	умеет проводить приборное моделирование этих структур	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	владеет навыками расчета параметров и характеристик наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	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. Какую энергию ΔE необходимо дополнительно сообщить нерелятивистскому электрону, чтобы его дебройлевская длина волны λ уменьшилась от $\lambda_1=0,1$ нм до $\lambda_2=0,05$ нм?

А) 0,45 мэВ; Б) 0,45 эВ; В) 0,45 кэВ Г) 0,45 МэВ.

2. Электрон находится в одномерной прямоугольной потенциальной яме с очень высокими стенками. Ширина ямы a . Оценить с помощью соотношения неопределенностей минимально возможную энергию электрона.

А) $E = \frac{\hbar^2}{2ma^2}$; Б) $E = \frac{\hbar^2}{ma^2}$; В) $E = \frac{2\hbar^2}{ma^2}$.

3. Частица находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме шириной l с абсолютно непроницаемыми стенками ($0 < x < l$). Найти вероятность местонахождения частицы в интервале $(l/3, 2l/3)$.

А) 0,61; Б) 0,66; В) 0,71.

4. Частица массы m находится в основном состоянии в одномерной прямоугольной потенциальной яме с абсолютно непроницаемыми стенками. Максимальное значение плотности вероятности местонахождения частицы в этом состоянии

равно w_m . Найти ширину ямы.

- А) $1/2w_m$; Б) $1/w_m$; В) $2/w_m$.

5. Определить уровни энергии и нормированные волновые функции частицы, находящейся в «потенциальном ящике». Потенциальная энергия частицы $V=\infty$ при $x<0$ и при $x>a$, $V=0$ при $0<x<a$.

А) $E_n = \frac{\hbar^2 n^2}{2ma^2}$, $\varphi_n(x) = \sqrt{2/a} \sin(\pi nx/a)$;

Б) $E_n = \frac{\hbar^2 n^2}{ma^2}$, $\varphi_n(x) = \sqrt{2/a} \sin(\pi nx/a)$;

В) $E_n = \frac{\hbar^2 n^2}{2ma^2}$, $\varphi_n(x) = \sqrt{1/a} \sin(\pi nx/a)$.

6. Частица движется в потенциальном поле $V(x)=\mu\omega^2 x^2/2$. Определить вероятность нахождения частицы вне классических границ для основного состояния.

- А) 0,16; Б) 0,24; В) 0,76; Г) 0,84.

7. Определить коэффициент прохождения частицы через прямоугольный барьер в случае $E<V_0$.

А) $D = \frac{4k^2 \kappa^2}{(k^2 + \kappa^2)^2 \operatorname{sh}^2 \kappa a}$;

Б) $D = \frac{4k^2 \kappa^2}{(k^2 + \kappa^2)^2 \operatorname{sh}^2 \kappa a + 4k^2 \kappa^2}$;

В) $D = 16 \frac{E}{V_0} \left(1 - \frac{E}{V_0}\right) \exp\left[-2a\sqrt{2m(V_0 - E)}/\hbar\right]$.

8. Определить коэффициент отражения частицы от прямоугольного барьера в случае $E>V_0$ (надбарьерное отражение).

А) $R = \frac{4k^2 \kappa^2 \sin^2 \kappa a}{4k^2 \kappa^2 + (k^2 + \kappa^2)^2 \sin^2 \kappa a}$;

Б) $R = \frac{4k^2 \kappa^2 \sin^2 \kappa a}{4k^2 \kappa^2 + (k^2 - \kappa^2)^2 \sin^2 \kappa a}$;

В) $R = \frac{(k^2 - \kappa^2)^2 \sin^2 \kappa a}{4k^2 \kappa^2 + (k^2 - \kappa^2)^2 \sin^2 \kappa a}$.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

Контрольное задание № 1

1. Элементарные низкоразмерные структуры, их энергетические диаграммы и плотности состояний в сравнении с трехмерной структурой.

2. Туннелирование носителей заряда через потенциальные барьеры. Резонансное туннелирование.

Контрольное задание № 2

1. Квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и их физический смысл.

2. Понятие эффекта размерного квантования.

Контрольное задание № 3

1. Понятие квантовой ямы, квантовой нити, квантовой точки.

2. Явление кулоновской блокады.

Контрольное задание № 4

1. Туннелирование носителей заряда.

2. Особенности энергетического спектра электронов в системах пониженной размерности.

Контрольное задание № 5

1. Вольт-амперная характеристика туннельно-резонансной структуры и физические причины её характерных особенностей.

2. Квантовые состояния в системах пониженной размерности.

Контрольное задание № 6

1. Структура и основные свойства ДБКС.

2. Квантовая механика простейших структур.

Контрольное задание № 7

1. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем. Квантовые колодцы.

2. Туннельный перенос носителей заряда в квантово-размерных структурах.

Контрольное задание № 8

1. Сверхрешетки.

2. Особенности движения частиц над потенциальным рельефом.

Контрольное задание № 9

1. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем. Модуляционно-легированные структуры.

2. Физические ограничения минимальных размеров элементов микроэлектроники.

Контрольное задание № 10

1. Структуры с квантовым ограничением, создаваемым внутренним электрическим полем. Дельта-легированные структуры.

2. Энергетические состояния в прямоугольной потенциальной яме сложной формы.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Получить оценку предельной ширины полупроводниковой квантовой ямы, при которой возможно наблюдение квантово-размерных явлений для электронов с эффективной массой $m=0,1m_0$ и подвижностью $\mu=10^3 \text{ см}^2/(\text{В}\cdot\text{с})$.

2. Является ли оправданным приближение бесконечно глубокой ямы в случае квантовой ямы шириной 10^{-8} м , образованной в структуре AlGaAs–GaAs–AlGaAs, если $U_0=0,3 \text{ эВ}$, $m=0,067m_0$?

3. Показать, что в симметричной квантовой яме всегда существует хотя бы одно разрешенное состояние.

4. Показать, что в узких асимметричных квантовых ямах не всегда могут существовать связанные состояния.

5. Частица находится в асимметричной квантовой яме шириной L , причем ее энергия $E \ll U_1, U_2$. Показать, что в этих условиях для оценки разрешенных значений волнового числа частицы может применяться формула $k_n = \pi n / (L + \hbar \alpha_1 / \sqrt{2mU_1} + \hbar \alpha_2 / \sqrt{2mU_2})$, где $\alpha_1 = \alpha_2 = 1$ в первом приближении.

6. Показать, что в случае симметричной потенциальной ямы при условии $\hbar / \sqrt{2mU_0} \gg L$ (мелкая яма) значение единственного дискретного энергетического уровня составляет $E_1 = U_0 - (mL^2 / 2\hbar^2)U_0^2$.

7. Построить график зависимости $R(E/U_0)$, где R — коэффициент отражения частицы с энергией E от потенциальной ступеньки высотой U_0 .

8. Построить график зависимости $R(E/U_0)$, где R — коэффициент отражения частицы с энергией E от симметричного потенциального барьера высотой U_0 .

9. Исследовать зависимость R от величины U_2 , где R — коэффициент отражения частицы с энергией E от асимметричного потенциального барьера, при одновременном выполнении условий $U_1 \leq E < U_2$, $\sqrt{2m(U_1 - E)}L / \hbar \ll 1$.

10. Определить значения волнового вектора, для которых коэффициент прохождения частицы через двухбарьерную структуру из абсолютно одинаковых достаточно толстых барьеров принимает минимально возможное значение T_{\min} . Чему равно T_{\min} ?

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. В чём выражаются компромиссы миниатюризации?
2. Основная идея масштабирования.
3. Чем диктуются пределы масштабирования?

4. При миниатюризации каких областей возрастает роль межсоединений?
5. К чему приводит миниатюризация линии межсоединения?
6. Какие переменные входят в качестве аргументов в волновую функцию электрона, находящегося в потенциальной яме?
7. Перечислите квантовые числа, определяющие состояние электрона в атоме, и укажите их физический смысл.
8. Как математически определяется возможность одновременного измерения параметров квантового объекта с произвольной точностью?
9. Что представляет собой эффект размерного квантования?
10. Поясните причину возникновения дискретных уровней энергии электрона в квантовой яме, исходя из представления о волновой природе электрона.
11. В чём состоит отличие микрочастиц от макрочастиц?
12. Как образуются наноразмерные объекты с пониженной размерностью?
13. Что понимают под квантовой ямой, квантовой нитью, квантовой точкой?
14. Какая гетероструктура является типичным примером эффекта размерного квантования?
15. Какими параметрами определяется электрическая проводимость нанонитей при баллистическом движении электронов?
16. Почему тонкие плёнки являются примером структуры с двумерным электронным газом?
17. Что представляют собой искусственные периодические структуры и почему их называют сверхрешётками?
18. Изобразите энергетические диаграммы сверхрешеток различного типа.
19. Что понимают под композиционной сверхрешёткой?
20. Что понимают под легированной сверхрешёткой?
21. Качественно изобразите волновую функцию электрона при туннельном переходе через потенциальный барьер.
22. В чём состоит физическая причина образования энергетических минизон в сверхрешетках?
23. Опишите процесс кулоновской блокады.
24. В чём состоит эффект гигантского магнетосопротивления?
25. Какова возможная структура, в которой наблюдается эффект гигантского магнетосопротивления?
26. Что такое резонансное туннелирование?
27. Каким условиям должны удовлетворять полупроводниковые слои для образования туннельно-резонансной структуры?
28. Нарисуйте вольт-амперную характеристику (ВАХ) туннельно-резонансной структуры и поясните физические причины ее характерных особенностей.
29. Каковы практические применения процесса туннелирования электрона?

30. Каково применение эффекта резонансного туннелирования в двухбарьерной квантовой структуре?

31. Какова структура и основные свойства ДБКС?

32. Как реализуется резонансное туннелирование в РТД?

33. Какова структура и каковы особенности физических процессов в РТТ?

Объясните ВАХ РТТ.

34. Каковы особенности ПТ с резонансным туннелированием?

35. Каков механизм одноэлектронного туннелирования?

36. Что такое кулоновская блокада и каков ее механизм?

37. Каковы свойства двухбарьерных одноэлектронных структур?

38. Какова структура и каков принцип функционирования одноэлектронного транзистора?

39. Какие физические явления объясняют ВАХ одноэлектронного транзистора?

40. Каковы устройство и принцип работы кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами на одиночной КТ?

41. Объясните ВАХ кремниевого одноэлектронного транзистора с двумя затворами.

42. Объясните работу инверторов на одноэлектронных транзисторах в логических интегральных схемах.

43. Что представляют собой углеродные нанотрубки и каковы идеи создания на их основе электронных устройств?

7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает проведение экзамена.

7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 2 вопроса и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 2 балла. Максимальное количество набранных баллов — 4.

1. Оценка «Не зачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 3 баллов.

2. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал от 3 до 4 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Электронная структура наномасштабных твердых тел	ОПК-1	Тест-билет

2	Размерное квантование и квантово-размерные структуры	ОПК-1	Тест-билет
3	Наноэлектронные приборы на основе квантово-размерных структур	ОПК-1	Тест-билет

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.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ)

Основная литература

Борисенко В.Е. Наноэлектроника: теория и практика. Учебник / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, А.Л. Данилюк, Е.А. Уткина. — М: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2013. — 366 с.

Борисенко В.Е. Наноэлектроника. Учеб. пособие / В.Е. Борисенко, А.И. Воробьева, Е.А. Уткина. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 223 с.

Шишкин Г.Г. Наноэлектроника. Элементы, приборы, устройства / Г.Г. Шишкин, И.М. Агеев. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2011. — 408 с.

Драгунов В.П. Основы наноэлектроники / В.П. Драгунов, И.Г. Неизвестный, В.А. Гридчин. — М.: Логос, 2006. — 494 с.

Зебрев Г.И. Физические основы кремниевой наноэлектроники. — М.: Техносфера, 2017.

Смирнов Ю.А. Основы нано- и функциональной электроники / Ю.А. Смирнов, С.В. Соколов, Е.В. Титов. — СПб.: Лань, 2013. — 320 с.

Демиховский В.Я. Физика квантовых низкоразмерных структур / В.Я. Демиховский, Вугальтер В.Я. — М.: Логос, 2000. — 248 с.

Дополнительная литература

Ибрагимов И.М. Основы компьютерного моделирования наносистем / И.М. Ибрагимов, А.Н. Ковшов, Ю.Ф. Назаров. — СПб.; М.; Краснодар: Лань, 2010. — 384

с.

Келсалл Р. Научные основы нанотехнологий и новых приборов / Р. Келсалл, А. Хэмли. — Долгопрудный: ИД «Интеллект», 2011. — 528 с.

Шик А.Я. Физика низкоразмерных систем / А.Я. Шик, Л.Г. Бакуева, С.Ф. Мухихин, С.А. Рыков. — СПб.: Наука, 2001. — 160 с.

Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

Система физико-топологического моделирования Sentaurus TCAD.

www.labfor.ru. Учебный лабораторный стенд LESO 2.1. Паспорт и инструкция по эксплуатации. Новосибирск. 2009.

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

Учебный компьютерный класс, оснащенный компьютерными программами для выполнения расчетов, и рабочими местами для самостоятельной подготовки обучающихся с выходом в Интернет.

Контрольно-измерительное оборудование — учебные лабораторные стенды LESO 2.1 (Лаборатория электронных средств обучения, ЛЭСО, ГОУ ВПО «СибГУТИ»).

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) по дисциплине «Физика низкоразмерных систем»

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 параметров и характеристик наноэлектронных устройств на базе квантово-размерных структур. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

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

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 уда-

	ется 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.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: - работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций; - выполнение домашних заданий и расчетов; - работа над темами для самостоятельного изучения; - участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад; - подготовка к промежуточной аттестации.
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

№ п/п	Перечень вносимых изменений	Дата вне- сения из- менений	Подпись заведующего кафедрой, ответствен- ной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			