

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

УТВЕРЖДАЮ

Декан факультета _____ Небольсин В.А.

«31» августа 2017 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины

«Компьютерное моделирование, расчет и проектирование наносистем»

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 _____ /Винокуров А.А./

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 и практических навыков в области решения задач расчета и проектирования элементов микросистем с применением систем автоматизированного проектирования (САПР) и систем моделирования (СМ).

1.2. Задачи освоения дисциплины

изучение структуры процесса проектирования микросистем и интегральных схем на основе иерархического подхода;

приобретение обучающимися навыков создания геометрических и конечно-элементных моделей элементов микросистем;

приобретение обучающимися навыков моделирования электрических параметров систем на основе SPICE-моделей компонентов;

приобретение навыков топологического проектирования элементов микросистемной техники и микроэлектроники.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Компьютерное моделирование, расчет и проектирование наносистем» относится к дисциплинам вариативной части блока Б1 учебного плана.

3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Компьютерное моделирование, расчет и проектирование наносистем» направлен на формирование следующих компетенций:

ОПК-1 – способность использовать основные законы естественнонаучных дисциплин в профессиональной деятельности, применять методы математического анализа и экспериментального исследования;

ПКВ-1 – способность владеть современными методами моделирования и проектирования приборов и устройств микро- и нанoeлектроники, способностью к восприятию, разработке и критической оценке новых способов их проектирования.

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ОПК-1	знать алгоритмы построения конечно-элементных моделей элементов микро- и наносистем с использованием САПР
	уметь формировать техническое задание на проектирование элементов микро- и наносистем; строить конечно-элементные модели; определять оптимальные параметры решателя системы конечно-элементного анализа
	владеть навыками работы с графическим интерфейсом и синтаксисом командных файлов САПР конечно-элементного анализа
ПКВ-1	знать состав и назначение модулей САПР топологического и функцио-

	нально-логического уровня; правила проектирования топологий ИС и элементов микро- и наносистем; синтаксис языка SPICE; основные параметры SPICE-моделей компонентов
	уметь задавать геометрические размеры элементов топологии ИС и элементов микро- и наносистем; создавать стандартные топологические ячейки и проектировать на их основе топологию ИС вручную и с использованием автоматической генерации в САПР; создавать командные файлы на языке SPICE; выполнять экстракцию текстового описания из топологии и электрической схемы
	владеть навыками создания правил проектирования в САПР; создания и редактирования библиотечных файлов; работы со схемотехническим редактором и редактором топологий; работы в SPICE-симуляторе

4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Компьютерное моделирование, расчет и проектирование наносистем» составляет 4 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий
очная форма обучения

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		7
Аудиторные занятия (всего)	72	72
В том числе:		
лекции	36	36
лабораторные работы	36	36
Самостоятельная работа	36	36
Виды промежуточной аттестации — зачет с оценкой	+	+
Курсовая работа		
Общая трудоемкость		
академические часы	108	108
з.е.	4	4

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	Лаб. раб.	СРС	Всего, час
1	Уровни описания и параметры проектируемых объектов	Структура процесса проектирования. Иерархические уровни проектирования, стадии проектирования, содержание технических заданий на проектирование. Классификация моделей и параметров, используемых при автоматизированном проекти-	6	-	6	12

		ровании.				
2	Математические модели, используемые при проектировании микро- и наносистем	Математический аппарат в моделях разных иерархических уровней, требования к моделям и численным методам. Метод конечных элементов (МКЭ). Математические модели в электромеханике. Физико-математические и морфолого-топологические модели элементов.	6	4	6	16
3	Моделирование микро- и наносистем в САПР конечно-элементного анализа	Структура систем автоматизированного проектирования, виды обеспечения САПР. Особенности реализации МКЭ в САПР ANSYS. Этапы моделирования в программном комплексе ANSYS. Статический прочностной анализ. Стационарный тепловой анализ.	8	16	8	32
4	Топологические САПР	Проектирование топологии элементов микроэлектроники, микро- и наносистем. Геометрические правила проектирования топологии. Редактор топологии. Работа со слоями. Создание топологии элемента цифровой интегральной схемы. Создание топологии элементов МСТ. Создание правил проектирования.	8	8	8	24
5	САПР функционально-логического уровня. SPICE-параметры.	Моделирование параметров элементов ИС и МСТ в SPICE-симуляторе. Экстракция SPICE-параметров элементов из топологии. Верификация топологии.	8	8	8	24
Итого			36	36	36	108

5.2 Перечень лабораторных работ

1. Создание конечно-элементной модели твердого тела. Статический структурный анализ.
2. Решение контактной задачи для двумерного случая.
3. Моделирование сенсорного элемента МЭМС-акселерометра.
4. Анализ тепловых процессов.
5. Создание библиотеки стандартных топологических ячеек.
6. Автоматическое размещение и трассировка топологических ячеек.
7. Моделирование параметров элементов ИС и МСТ в SPICE-симуляторе.

5.3 Перечень практических занятий

Не предусмотрено учебным планом.

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

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсовой работы в 7 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсовой работы: «Моделирование сенсорного элемента микроакселерометра в САПР конечно-элементного анализа».

Задачи, решаемые при выполнении курсовой работы:

- составление обзора литературы по заданной теме;
- расчет геометрических размеров и определение параметров материалов по заданным эксплуатационным характеристикам элемента;
- создание трехмерной геометрической модели элемента; моделирование в САПР конечно-элементного анализа, подтверждение требуемых характеристик.

Курсовая работа включает в себя файлы проекта в САПР 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
ОПК-1	знает алгоритмы построения конечно-элементных моделей элементов микро- и наносистем с использованием САПР	Устный ответ на вопрос, тест, выполнение курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	умеет формировать техническое задание на проектирование элементов микро- и наносистем; строить конечно-элементные модели; определять оптимальные параметры решателя системы конечно-элементного анализа	Выполнение и защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет навыками работы с графическим интерфейсом и синтаксисом командных файлов САПР конечно-элементного анализа	Выполнение и защита лабораторных работ, выполнение курсовой работы	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПКВ-1	знает состав и назначение модулей САПР топологического и функционально-логического уровня; прави-	Устный ответ на вопрос, тест, тест	Выполнение работ в срок, предусмотр-	Невыполнение работ в срок, предусмотрен-

	ла проектирования топологий ИС и элементов микро- и наносистем; синтаксис языка SPICE; основные параметры SPICE-моделей компонентов		ренный в рабочих программах	ный в рабочих программах
	умеет рассчитывать геометрические размеры элементов топологии ИС и элементов микро- и наносистем; создавать стандартные топологические ячейки и проектировать на их основе топологию ИС вручную и с использованием автоматической генерации в САПР; создавать командные файлы на языке SPICE; выполнять экстракцию текстового описания из топологии и электрической схемы	Выполнение и защита лабораторных работ.	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеет навыками создания правил проектирования в САПР; навыками работы со схемотехническим редактором и редактором топологий; навыками работы в SPICE-симуляторе; навыками создания и редактирования библиотечных файлов	Выполнение и защита лабораторных работ.	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 7 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Отлично	Хорошо	Удовл.	Неудовл.
ОПК-1	знает алгоритмы построения конечно-элементных моделей элементов микро- и наносистем с использованием САПР	Тест, устные ответы на вопросы	Более 80% от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы	61—80 % от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы	41—60 % от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы	Менее 41 % от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы
	умеет формировать техническое задание на проектирование элементов микро- и наносистем;	Решение стандартных практических	Задачи решены в полном объеме и	Продемонстрирован верный ход решения	Продемонстрирован верный ход решения в	Задачи не решены

	строить конечно-элементные модели; определять оптимальные параметры решателя системы конечно-элементного анализа	задач, выполнение и защита курсовой работы	получены верные ответы	всех, но не получен верный ответ во всех задачах	большинстве задач	
	владеет навыками работы с графическим интерфейсом и синтаксисом командных файлов САПР конечно-элементного анализа	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение и защита курсовой работы	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
ПКВ-1	знает состав и назначение модулей САПР топологического и функционально-логического уровня; правила проектирования топологий ИС и элементов микро- и наносистем; синтаксис языка SPICE; основные параметры SPICE-моделей компонентов	Тест, устные ответы на вопросы	Более 80% от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы	61—80 % от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы	41—60 % от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы	Менее 41 % от максимально возможного количества баллов за тест или ответы на вопросы
	умеет рассчитывать геометрические размеры элементов топологии ИС и элементов микро- и наносистем; создавать стандартные топологические ячейки и проектировать на их основе топологию ИС вручную и с использованием автоматической генерации в САПР; создавать командные файлы на языке SPICE; выполнять экстракцию текстового описания из топологии и электрической схемы	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
	владеет навыками создания правил проектирования в САПР; навыками работы со схемотехническим редактором и редактором топологий; навыками работы в SPICE-симуляторе; навыками создания и редактирования	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

	библиотечных файлов					
--	---------------------	--	--	--	--	--

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. Какая из перечисленных нагрузок механического анализа относится к инерционным?

1. Скорость вращения.
2. Давление.
3. Сила.
4. Натяжение.

2. Какой из параметров материалов должен быть обязательно задан при термоэлектрическом анализе?

1. Коэффициент Зеебека.
2. Коэффициент теплопроводности.
3. Температура.
4. Теплємкость.

3. Что из перечисленного не является граничным условием при моделировании механических свойств?

1. Жесткое закрепление (Fixed Support).
2. Момент (Moment).
3. Скорость (Velocity).
4. Связывание (Coupling).

4. Какие слои в приведенном описании являются физическими (drawing)?

ndiff = (Field Active) AND (N Select)
 pdiff = (Field Active) AND (P Select)
 Field Active = (Active) AND (NOT (Poly))

1. ndiff, pdiff, Field Active
2. ndiff, pdiff
3. N Select, P Select, Active, NOT (Poly)
4. N Select, P Select, Active, Poly

5. Для чего нужен слой Via?

1. Слой с имплантированной примесью р-типа.
2. Слой для размещения порта, ограничивающий стандартную ячейку.
3. Проводящее соединение между различными слоями.
4. Слой поликремния.

6. Какая из приведенных команд SPICE соответствует анализу переходных процессов?

1. .dc source V1 lin 10 0 5

2. .tran 1n 1u
3. .step lin temp -25 150 25
4. .temp 150

7. Что означает приведенная команда SPICE?

XINV_1 In1 N_1 Gnd Vdd INV

1. Описание элемента.
2. Источник напряжения.
3. Команда анализа по постоянному току.
4. Команда подключения библиотечного файла.,

8. Где должна быть записана команда TPR.OUTPUT?

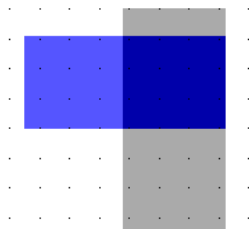
1. В командном файле SPICE, содержащем нетлист.
2. В ячейке верхнего уровня.
3. В ячейке нижнего уровня.
4. В имени порта.

9. Какие объекты обязательно должна содержать стандартная топологическая ячейка?

1. Активную область, входные и выходные порты, порты питания и земли.
2. Опорный порт, порты питания и земли.
3. Области контактных площадок, активную область.
4. Опорный порт, входные и выходные порты, области контактных площадок.

10. Какая ошибка допущена в приведенном фрагменте топологии, если считать, что это место электрического соединения двух слоев металлизации?

(Синяя область – металл-1; серая область – металл-2).



1. Металл-2 не должен выходить за границы металла 1.
2. Граница металла-2 должна либо совпадать с границей металла11, либо выходить за границы металла 1 на величину, превышающую минимальную.
3. Пропущен слой Active.
4. Пропущен слой Via.

7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Создать проект в Ansys Workbench, содержащий модуль термоэлектрического анализа.
2. Создать проект в Ansys Workbench, содержащий модули для связанного

анализа.

3. Создать эскиз для трехмерной геометрической модели в DesignModeler по заданному варианту.

4. Создать трехмерную геометрическую модель в DesignModeler по заданному варианту.

5. Создать конечно-элементную сетку для геометрической модели в автоматическом режиме с параметрами по умолчанию.

6. Создать конечно-элементную сетку для геометрической модели с заданными формой и размером конечного элемента.

7. Задать нагрузки, начальные и граничные условия для термоэлектрического анализа.

8. Создать в Workbench пользовательский материал с параметрами, достаточными для термоэлектрического анализа.

9. Добавить к проекту библиотечный материал со свойствами, достаточными для статического структурного анализа.

10. Сравнить результаты моделирования, полученные при использовании разных решателей.

7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Провести моделирование термоэлектрического преобразователя с заданными геометрическими размерами и свойствами материалов в режиме потребления электрической энергии.

2. Провести моделирование термоэлектрического преобразователя с заданными геометрическими размерами и свойствами материалов в режиме генерации электрической энергии.

3. Провести моделирование деформации подвесов чувствительного элемента емкостного микроакселерометра с заданными геометрическими размерами и свойствами материалов.

4. Провести моделирование деформации подвесов чувствительного элемента емкостного микроакселерометра с заданными геометрическими размерами и свойствами материалов при повышенной температуре.

5. Провести моделирование нагревательного элемента с геометрическими размерами и параметрами материалов по заданному варианту.

6. Создать топологию стандартной ячейки резистора с заданным сопротивлением.

7. Создать топологию стандартной ячейки КМОП-инвертора с заданными геометрическими размерами.

8. Выполнить анализ переходных процессов для КМОП-элемента 3И в SPICE-симуляторе.

9. Выполнить анализ по постоянному току (DC operation point) для КМОП-элемента 2ИЛИ-НЕ в SPICE-симуляторе.

10. Создать топологию чувствительного элемента емкостного микроакселерометра с заданными геометрическими размерами.

7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Иерархические уровни проектирования элементов ИС, микро- и наносистем.

2. Классификация моделей и параметров, используемых при автоматизированном проектировании.

3. Математический аппарат в моделях разных иерархических уровней, требования к моделям и численным методам в САПР.

4. Математические модели в процедурах анализа на макроуровне. Исходные уравнения моделей (топологические и компонентные).

5. Примеры компонентных моделей.

6. Математические модели на микроуровне, методы анализа на микроуровне.

7. Метод конечных элементов.

8. Конечные элементы. Типы, степени свободы, порядок конечных элементов.

9. Особенности реализации МКЭ в программе ANSYS.

10. Состав программного комплекса ANSYS.

11. Интерфейс модуля ANSYS Mechanical APDL.

12. Интерфейс модуля ANSYS Workbench.

13. Этапы моделирования в программном комплексе ANSYS.

14. Процедура задания типа конечного элемента.

15. Процедура задания свойств материала элемента.

16. Построение геометрической модели исследуемого объекта методом снизу-вверх.

17. Построение геометрической модели исследуемого объекта методом сверху-вниз.

18. Создание конечно-элементной модели с помощью команды Mapped.

19. Создание конечно-элементной модели с помощью команды MeshTool.

20. Наложение граничных условий на сеточную модель.

21. Виды анализа в программном комплексе ANSYS. Виды решателей.

22. Двумерный статический анализ в САПР ANSYS.

23. Трехмерный статический анализ в САПР ANSYS.

24. Анализ тепловых процессов в САПР ANSYS.

25. Методы решения связанных задач в программном комплексе ANSYS.

26. Общие сведения об этапе постпроцессинга в программном комплексе ANSYS.

27. Отображение результатов моделирования в растровом, векторном, текстовом форматах.

28. Топологии интегральных резисторов.

29. Топологии логических элементов по КМОП-технологии.

30. Топологии элементов МСТ. Создание библиотеки слоев.
31. Геометрические правила проектирования топологий.
32. Создание правил проектирования топологии в САПР.
33. Проектирование топологий с использованием стандартных ячеек.
34. Создание схемы и символа элемента и в схемотехническом редакторе.
35. Алгоритм экстракции текстового описания из топологии.
36. Структура командного файла для моделирования в SPICE-симуляторе.
37. Анализ по постоянному току в SPICE-симуляторе.
38. Анализ переходных процессов в SPICE-симуляторе.
39. Параметрический анализ в SPICE-симуляторе.
40. Создание списка соединений на основе электрической схемы. Верификация топологии.

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 билетам, каждый из которых содержит 3 вопроса. Каждый ответ на вопрос оценивается 2 баллами. Максимальное количество набранных баллов – 6.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал 0—1 балл.
2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал 2—3 балла.
3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал 4 балла.
4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал 5—6 баллов.

7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Уровни описания и параметры проектируемых объектов	ОПК-1, ПКВ-1	Тест, устные ответы на вопросы, выполнение и защита курсовой работы.
2	Математические модели, используемые при проектировании МСТ	ОПК-1	Устные ответы на вопросы, выполнение и защита лабораторных работ.
3	Моделирование МСТ в САПР конечно-элементного анализа	ОПК-1	Устные ответы на вопросы, выполнение и защита лабораторных работ, выполнение и защита курсовой работы.
4	Топологические САПР	ПКВ-1	Тест, устные ответы на вопросы, выполнение и защита лабораторных работ.

5	САПР функционально-логического уровня. SPICE-параметры.	ПКВ-1	Тест, устные ответы на вопросы, выполнение и защита лабораторных работ.
---	---	-------	---

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

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

Решение стандартных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Обучающийся выполняет задание с использованием средств САПР. Время решения задач 45 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется с использованием выданных задач на бумажном носителе. Обучающийся выполняет задание с использованием средств САПР. Время решения задач 45 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методике выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Винокуров А.А. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1—4 по дисциплине «Основы моделирования и оптимизации» для студентов направления 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» очной формы обучения / ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.А. Винокуров, А.В. Арсентьев, Е.Ю. Плотникова. — Воронеж: ВГТУ, 2017. 33 с.

2. Арсентьев А.В. Методические указания к выполнению лабораторных работ № 1, 2 по дисциплине «САПР в наноэлектронике» для студентов направления 28.03.02 «Наноинженерия», профиля «Инженерные нанотехнологии в приборостроении» очной формы обучения ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет»; сост. А.В. Арсентьев, А.А. Винокуров. — Воронеж, 2015. 22 с.

3. Бордаков Е.В. Основы проектирования топологии ИС: учебное пособие. Воронеж: ВГТУ / Е.В. Бордаков, В.И. Пантелеев. – Воронеж: ВГТУ, 2010.

4. Федорова Н.Н. Основы работы в ANSYS 17 / Н.Н. Федорова, С.А. Вальгер, М.Н Данилов, Ю.В. Захарова. – М.: ДМК Пресс, 2017. – 210 с.

5. Петров М.Н., Гудков Г.В. Моделирование компонентов и элементов инте-

гральных схем: учебное пособие. – С.-Пб.: Лань, 2011. – 464 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:

Официальный сайт ВГТУ <https://cchgeu.ru>

Электронная библиотека elibrary.ru

Программное обеспечение кафедры ППЭНЭ

9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА

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

Компьютерный класс, оснащенный программным обеспечением для проведения лабораторных работ.

10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ) по дисциплине «Компьютерное моделирование, расчет и проектирование наносистем»

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

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 удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции.
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 зада-

	ния.
Самостоятельная работа	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 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 ка- федрой, ответственной за реализацию ОПОП
1			
2			
3			