

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

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”

ДЕКАН РЭФ

д.т.н. Хрусталева В. А.

“ ____ ” _____ г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Методы математического моделирования

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, профиль:
Микроэлектроника и микроэлектроника

Курс: 3, семестр : 5

Факультет радиотехники и электроники,

		Семестр
№	Вид деятельности	5
1	Всего зачетных единиц (кредитов)	4
2	Всего часов	144
3	Всего занятий в контактной форме, час.	65
4	Лекции, час.	36
5	Практические занятия, час.	0
6	Лабораторные занятия, час.	18
7	из них в активной и интерактивной форме, час.	18
8	Аттестация, час.	2
9	Консультации, час.	9
10	Самостоятельная работа, час.	79
11	Виды самостоятельной работы (курсовой проект, курсовая работа, РГЗ, подготовка к контрольной работе)	РГЗ контр.
12	Вид аттестации	ДЗ

Рабочая программа составлена на основании федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

ФГОС введен в действие приказом №218 от 12.03.2015 г. , дата утверждения: 07.04.2015 г.

Место дисциплины в структуре учебного плана: Блок 1, вариативная

Рабочая программа разработана на основе компетентностной модели выпускника по направлению (специальности): 11.03.04 Электроника и нанoeлектроника

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры

ППиМЭ, протокол заседания кафедры №5 от 20.06.2017

Утверждена на совете факультета радиотехники и электроники, протокол № 6 от 21.06.2017

Программу разработал:

старший преподаватель, Калинин С. В.

Заведующий кафедрой:

с.н.с., д.ф-м.н. Гайслер В. А.

Ответственный за образовательную программу:

заведующий кафедрой Гайслер В. А.

1. Внешние требования

Таблица 1.1

Компетенция ФГОС: ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики; в части следующих результатов обучения:	
у1. умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	
Компетенция ФГОС: ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат; в части следующих результатов обучения:	
з3. знает универсальность математических методов в познании окружающего мира	
Компетенция ФГОС: ПК.1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и нанoeлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования; в части следующих результатов обучения:	
у9. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	

2. Требования НГТУ к результатам освоения дисциплины

Таблица 2.1

Результаты изучения дисциплины по уровням освоения (иметь представление, знать, уметь, владеть)		Формы организации занятий
<i>Методы математического моделирования</i>		
ОПК.1.у1 умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности		
1. Основные особенности научных компьютерных вычислений		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
2. Численные модели в форме СЛАУ и основные методы их решения		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
3. Численные модели в форме нелинейных уравнений и основные методы их решения		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
4. Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) и основные методы их решения		Лекции; Самостоятельная работа
5. Численно находить решения численных моделей в форме СЛАУ, систем нелинейных уравнений и ОДУ		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
6. Управлять параметрами численных методов с целью для нахождения решений СЛАУ, нелинейных систем и ОДУ		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
7. Применения математических моделей в микро и нанoeлектронике		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
ПК.1.у9 Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники		
8. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники		Лабораторные работы
ОПК.2.з3 знает универсальность математических методов в познании окружающего мира		
9. об основных особенностях математического моделирования и вычислительного эксперимента		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
10. об иерархии математических моделей и схеме их классификации		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
11. об основных характерных математических моделях в микро и нанoeлектронике		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа
12. Понятийный аппарат (терминологию) дисциплины		Лекции; Лабораторные работы; Самостоятельная работа

3. Содержание и структура учебной дисциплины

Таблица 3.1

Темы лекций	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Математическое моделирование и вычислительный эксперимент				
1. Математическая модель и математическое моделирование	0	2	10, 11, 12, 9	Первые понятия о математическом моделировании. Третья основа научного познания мира. Основные этапы. Черный ящик. Прямая и обратная задачи. Основные характеристики математической модели. Понятия - "катастрофа от изобилия" и "открытие на кончике пера". Анализ математической модели. Теория размерностей. Асимптотика. Понятие о корректно поставленной задаче. Общая схема классификации математических моделей. Факторы моделирования.
2. Примеры математических моделей в микро и наноэлектронике	0	4	1, 10, 12, 7	Пример 1: модель диффузии легирующей примеси в полупроводниковом кристалле; одномерные краевые задачи для модели диффузии, имеющие аналитическое решение. Пример 2: уравнение непрерывности для электронов и дырок с учетом процессов генерации-рекомбинации. Пример 3: Трехмерное уравнение теплопроводности (переноса тепла). Пример 4: модель процесса термического окисления Дила-Гроува в трех формах. Пример 5: Модель диффузии, совместной с процессом термического окисления. Условие Аталлы-Танненбаума.
3. Вычислительный эксперимент	0	2	10, 11, 12, 7, 9	Вычислительный эксперимент. Факторы эффективности. Этапы. Современные особенности. Сравнение вычислительного эксперимента с натуральным экспериментом
Дидактическая единица: Основные особенности научных компьютерных вычислений				

4. Специфические особенности компьютерных вычислений	0	2	1, 10, 11, 12, 9	Специфические особенности компьютерного моделирования. Обусловленность. Классы погрешностей. Вычислительная машинная погрешность. Компьютерное множество $FL(R)$. Два класса параметров для его описания. Понятие о машинном эpsilon. Стандарт IEEE 754. Одинарная и двойная точность на PC. Нарушение законов ассоциативности и дистрибутивности при компьютерных вычислениях.
5. Примеры особенностей компьютерных научных вычислений	0	2	1, 10, 11, 12, 9	Пример 1: ошибки при нахождении корней многочлена, обусловленные конечностью длины мантиссы. Пример 2: Плохообусловленные СЛАУ. Пример 3: влияние формы записи и рационального приближения корня из 2 на результат вычисления алгебраической дроби в зависимости от используемого алгоритма. Пример 4: вычисление значений $\exp(x)$ и $\sin(x)$ путем использования их разложения в ряд Тейлора. Пример 5. суперпозиция ошибок округления и математического приближения при вычислении производной на основе разностных вычислений. Пример 6: Ошибки, обусловленные использованием рекуррентных формул при вычислении интегралов. Пример 7: Распространение ошибок в начальных данных при решении задачи Коши для ОДУ.
Дидактическая единица: Численные модели в форме СЛАУ				

6. Примеры численных моделей в форме СЛАУ	0	4	10, 12, 2, 5, 6, 7, 9	Пример 1: СЛАУ при решении задачи многочленной интерполяции. Пример 2. СЛАУ при решении задачи аппроксимации экспериментальных данных методом наименьших квадратов. Пример 3. СЛАУ при решении одномерной двухточечной краевой задачи. Понятие о разреженных матрицах. Пример 4: СЛАУ на основе сетевых моделей.
7. Численные особенности и методы решения СЛАУ	0	4	11, 12, 2, 5, 6, 7, 9	Вычислительные особенности СЛАУ. Понятия о векторах ошибки и невязки. Число обусловленности. Оценки векторов ошибки и невязки. Вычислительная неэффективность правил Крамера. Прямые численные методы: метод Гаусса, понятие факторизации, методики выбора ведущего элемента, условия сходимости; Метод трехдиагональной прогонки. Понятие об итерационных численных методах. Основные методы завершения итерационного процесса. Итерационный метод простой итерации. Условия сходимости. Итерационный метод Гаусса-Зейделя. Ускорение сходимости методом релаксации. .
Дидактическая единица: Численные модели в форме нелинейных уравнений				
8. Примеры моделей в форме нелинейных уравнений и систем	0	2	11, 12, 3, 5, 6, 7, 9	Пример 1: модель глубины р-п-перехода. Пример 2: Модель промерзания земли. Оценка возраста Земли по методике Кельвина. Пример 3. Модель ВАХ реального диода с учетом сопротивления базы. Пример 4: Численная электрофизическая модель границ ОПЗ р-п-перехода. Пример 5: модель для концентраций электронов и дырок в равновесном полупроводнике. Пример 6: модель положения уровня Ферми в примесном полупроводнике. Пример 7: численная нелинейная модель при решении уравнения Пуассона.

9. Численные методы для решения нелинейных уравнений и систем	0	4	11, 12, 3, 5, 6, 7, 9	Особенности численных методов решения нелинейного уравнения. Метод биекции. Метод Ньютона (метод касательных). Метод секущих (метод хорд). Метод простой итерации. Метод Ньютона для численного решения системы нелинейных уравнений. Матрица Якоби. Метод простой итерации для численного решения системы нелинейных уравнений
Дидактическая единица: Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)				
10. Модели в форме задачи Коши для ОДУ	0	2	11, 12, 4, 5, 6, 7, 9	Основные понятия о задаче Коши. Простейшие модели в форме ОДУ: модель Бургера-Ламберта; модель РС-цепочки, Модель о релаксации избыточных неосновных носителей, генерируемых световой засветкой тонкой полупроводниковой пластины. Химико-технологические модели в форме задачи Коши: модель о растворении сахара; модель автокаталитической реакции; модель кинетической реакции 2-го порядка. Численная кинетическая модель о концентрации озона в атмосфере. Биологические модели роста: модель "хищник-жертва" Лотки-Вольтерра; модель роста населения Земли.

11. Модели в форме двухточечной краевой задачи	0	4	11, 12, 4, 5, 6, 7, 9	Математические особенности двухточечной краевой задачи. Простейшая модель на основе уравнения Шредингера. Модель о переносе тепла в тонком стержне, находящемся в режиме стационарного теплообмена с окружающей средой. Модель процесса диффузии, сопровождающейся химической реакцией. Модель о боковой засветке полупроводниковой пластины. Модель световой засветки тонкой полупроводниковой пластины с учетом процесса поверхностной рекомбинации на боковой грани пластины. Модель затягивания неосновных носителей в объем полупроводника под действием диффузионно-дрейфового механизма переноса. Модификация понятия диффузионной длины. Модель о распределении потенциала в полупроводнике под действием электрического поля у поверхности (эффект поля).
12. Особенности численных методов для ОДУ	0	4	11, 12, 4, 5, 6, 7, 9	Основные понятия метода сеток: сеточная функция и разностная схема; сходимость, аппроксимация, невязка и устойчивость; основная теорема теории разностных схем. Порядок аппроксимации и сходимость метода Эйлера. Простейший пример конечно-разностной схемы для задачи Коши. Случай численной неустойчивости. Порядок аппроксимации неявной схемы Эйлера и схемы с центральными разностями. Необходимое условие устойчивости разностной схемы для линейных задач. Исследование устойчивости схем Эйлера и схемы с центральными разностями. Одношаговые методы второго порядка: схемы Хьюна и Кранка-Николсона. Одношаговые численные методы класса Рунге-Кутты. Многошаговые численные методы класса Адамса.

Таблица 3.2

Темы лабораторных работ	Активные формы, час.	Часы	Ссылки на результаты обучения	Учебная деятельность
Семестр: 5				
Дидактическая единица: Математическое моделирование и вычислительный эксперимент				
1. Модели диффузионных процессов для планарной технологии	5	5	10, 11, 12, 7, 8, 9	Исследование 1D и 3D модели диффузионных процессов в кремнии на основе моделей постоянного и эффективного коэффициента диффузии на основе аналитических приближений..
2. Модели термического окисления кремния	5	5	10, 11, 12, 7, 8, 9	Исследование моделей термического окисления кремния для трех форм записи в приближении Дила-Гроува в различных окислительных атмосферах. Модификация модели в форме Массанда.
Дидактическая единица: Основные особенности научных компьютерных вычислений				
3. Особенности научных компьютерных вычислений	4	4	1, 10, 11, 12, 7, 9	Исследование точности компьютерных вычислений для различных алгоритмов, используемых в научных исследованиях.
Дидактическая единица: Численные модели в форме нелинейных уравнений				
4. Численные методы в моделировании	4	4	10, 11, 12, 2, 3, 5, 6, 7, 9	Исследование основных численных методов, используемых при анализе моделей в форме СЛАУ, нелинейных уравнений и систем.

4. Самостоятельная работа обучающегося

№	Виды самостоятельной работы	Ссылки на результаты обучения	Часы на выполнение	Часы на консультации
Семестр: 5				
1	Контрольные работы	1, 10, 2, 3, 4, 5, 9	10	5
Работа с конспектом лекций, отчетами по лабораторным, литературой из интернет : Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042				
2	РГЗ	1, 2, 3, 4	10	4
Работа со справочными данными, литературой, конспектом лекций и данными из Интернета: Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042				
3	Подготовка к занятиям	1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 9	40	0

Работа с конспектом лекций, литературой и справочными данными: Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042

4	Подготовка к аттестации	1, 10, 11, 12, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 9	19	0
---	-------------------------	------------------------------------	----	---

Подготовка к защите тем и зачету: Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042

5. Технология обучения

Для организации и контроля самостоятельной работы обучающихся, а также проведения консультаций применяются информационно-коммуникационные технологии (табл. 5.1).

Таблица 5.1

Деятельность	Информационно-коммуникационные технологии
Информирование	e-mail
Консультирование	e-mail
Контроль	e-mail
Размещение учебных материалов	e-mail

6. Правила аттестации обучающихся по учебной дисциплине

Для аттестации обучающихся по дисциплине используется балльно-рейтинговая система (БРС), позволяющая выставять оценки по традиционной шкале и 15-уровневой ECTS. Краткая информация о БРС приведена в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Оцениваемые виды деятельности обучающихся	Мин. балл	Максимальный балл
Семестр: 5		
<i>Подготовка к занятиям:</i>	8	16
<i>Дополнительная учебная деятельность:</i>	0	
<i>Лекция:</i>	2	4
<i>Лабораторная:</i>	20	40
<i>Контрольные работы:</i>	5	10
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042 "		
<i>РГЗ:</i>	5	10
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042 "		
<i>Зачет:</i>	10	20
Контролирующие материалы (список вопросов) приводятся в "Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042 "		

В таблице 6.2 представлено соответствие форм контроля заявляемым требованиям к результатам освоения дисциплины.

Таблица 6.2

Коды компетенций ФГОС	Результаты обучения	Формы контроля			
		Защита ЛР	Контр. раб.	Защита РГЗ	Зачет
ОПК.1	у1. умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	+	+	+	+
ОПК.2	з3. знает универсальность математических методов в познании окружающего мира	+	+	+	+
ПК.1	у9. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники				+

Фонд оценочных средств по дисциплине представлен в приложении № 1 к рабочей программе.

7. Литература

Основная литература

1. Зализняк В. Е. Численные методы. Основы научных вычислений : учебное пособие для бакалавров / В. Е. Зализняк ; Сиб. федер. ун-т. - Москва, 2012. - 356 с. : ил., табл.
2. Турчак Л. И. Основы численных методов : [учебное пособие для вузов] / Л. И. Турчак, П. В. Плотников. - М., 2005. - 300 с. : ил., табл.
3. Ашихмин В.Н. Введение в математическое моделирование [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Н. Ашихмин, М.Б. Гитман, И.Э. Келлер. — Электрон. текстовые данные. — М. : Логос, 2004. — 439 с. — 5-94010-272-7. — Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/9063.html>

Дополнительная литература

1. Самарский А. А. Математическое моделирование : идеи, методы, примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. - М., 1997. - 320 с. : ил.
2. Самарский А. А. Компьютеры и жизнь : (математическое моделирование) / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. - М., 1987. - 127, [1] с.
3. Форсайт Д. Е. Машинные методы математических вычислений / Дж. Форсайт, М. Малькольм, К. Моулер ; пер. с англ. Х. Д. Икрамов. - М., 1980. - 279 с. : ил., схемы
4. Ортега Д. М. Введение в численные методы решения дифференциальных уравнений / Дж. Ортега, У. Пул ; пер. с англ. Н. Б. Конюховой, под ред. А. А. Абрамова. - М., 1986. - 288 с. : ил., схемы, табл.
5. Старосельский В. И. Физика полупроводниковых приборов микроэлектроники : учебное пособие [для вузов по направлению 210100 "Электроника и микроэлектроника"] / В. И. Старосельский. - М., 2011. - 463 с. : ил., табл.
6. Введение в математическое моделирование : учебное пособие для вузов / [В. Н. Ашихмин и др.] ; под ред. П. В. Трусова. - М., 2000. - 332 с. : ил.
7. Бордовский Г. А. Физические основы математического моделирования : учебное пособие для вузов / Г. А. Бордовский, А. С. Кондратьев, А. Д. Р. Чоудери. - М., 2005. - 315, [1] с. : ил.

Интернет-ресурсы

1. ЭБС НГТУ : <http://elibrary.nstu.ru/>
2. ЭБС «Издательство Лань» : <https://e.lanbook.com/>
3. ЭБС IPRbooks : <http://www.iprbookshop.ru/>

4. ЭБС "Znanium.com" : <http://znanium.com/>

5. :

8. Методическое и программное обеспечение

8.1 Методическое обеспечение

1. Организация самостоятельной работы студентов Новосибирского государственного технического университета : методическое руководство / Новосиб. гос. техн. ун-т ; [сост.: Ю. В. Никитин, Т. Ю. Сурнина]. - Новосибирск, 2016. - 19, [1] с. : табл.. - Режим доступа: http://elibrary.nstu.ru/source?bib_id=vtls000234042

8.2 Специализированное программное обеспечение

1 MathCAD

9. Материально-техническое обеспечение

Компьютерный класс

№	Наименование	Назначение
1	Компьютерный класс (Компьютеры объединены в локальную сеть с выходом в Internet)	Используется для выполнения лабораторных работ

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

Кафедра полупроводниковых приборов и микроэлектроники

“УТВЕРЖДАЮ”
ДЕКАН РЭФ
д.т.н., профессор В.А. Хрусталеv
“ ” _____ _____ г.

ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Методы математического моделирования

Образовательная программа: 11.03.04 Электроника и микроэлектроника, профиль:
Микроэлектроника и микроэлектроника

1. Обобщенная структура фонда оценочных средств учебной дисциплины

Обобщенная структура фонда оценочных средств по дисциплине **Методы математического моделирования** приведена в Таблице.

Таблица

Формируемые компетенции	Показатели сформированности компетенций (знания, умения, навыки)	Темы	Этапы оценки компетенций	
			Мероприятия текущего контроля (курсовой проект, РГЗ(Р) и др.)	Промежуточная аттестация (экзамен, зачет)
ОПК.1 способность представлять адекватную современному уровню знаний научную картину мира на основе знания основных положений, законов и методов естественных наук и математики	у1. умеет работать с системными естественнонаучными моделями объектов профессиональной деятельности	Дидактическая единица:1 Математическое моделирование и вычислительный эксперимент 1.1 Модели диффузионных процессов для планарной технологии 1.2 Примеры математических моделей в микро и наноэлектронике 1.2 Модели термического окисления кремния 1.3 Вычислительный эксперимент Дидактическая единица:2 Основные особенности научных компьютерных вычислений 2.3 Особенности научных компьютерных вычислений 2.4 Специфические особенности компьютерных вычислений 2.5 Примеры особенностей компьютерных научных вычислений Дидактическая единица:3 Численные модели в форме СЛАУ 3.6 Примеры численных моделей в форме СЛАУ 3.7 Численные особенности и методы решения СЛАУ Дидактическая единица:4 Численные модели в форме нелинейных уравнений 4.4 Численные методы в моделировании 4.8 Примеры моделей в форме нелинейных уравнений и систем 4.9 Численные методы для решения нелинейных уравнений и систем Дидактическая единица:5 Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) 5.10 Модели в форме задачи Коши для ОДУ 5.11 Модели в форме двухточечной краевой задачи 5.12 Особенности численных методов для ОДУ	Отчет по лабораторным работам 1-4, Контрольные работы , РГЗ.	Зачет, вопросы по темам «Математическое моделирование и вычислительный эксперимент», «Основные особенности научных компьютерных вычислений», «Численные модели в форме СЛАУ», «Численные модели в форме нелинейных уравнений», «Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)»
ОПК.2 способность выявлять естественнонаучную сущность	з3. знает универсальность математических методов в познании	Дидактическая единица:1 Математическое моделирование и вычислительный эксперимент	Отчет по лабораторным работам 1-4, Контрольные	Зачет, вопросы по темам «Математическое моделирование и

проблем, возникающих в ходе профессиональной деятельности, привлекать для их решения соответствующий физико-математический аппарат	окружающего мира	1.1 Математическая модель и математическое моделирование 1.1 Модели диффузионных процессов для планарной технологии 1.2 Модели термического окисления кремния 1.2 Примеры математических моделей в микро и наноэлектронике 1.3 Вычислительный эксперимент Дидактическая единица:2 Основные особенности научных компьютерных вычислений 2.3 Особенности научных компьютерных вычислений 2.4 Специфические особенности компьютерных вычислений 2.5 Примеры особенностей компьютерных научных вычислений Дидактическая единица:3 Численные модели в форме СЛАУ 3.6 Примеры численных моделей в форме СЛАУ 3.7 Численные особенности и методы решения СЛАУ Дидактическая единица:4 Численные модели в форме нелинейных уравнений 4.4 Численные методы в моделировании 4.8 Примеры моделей в форме нелинейных уравнений и систем 4.9 Численные методы для решения нелинейных уравнений и систем Дидактическая единица:5 Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ) 5.10 Модели в форме задачи Коши для ОДУ 5.11 Модели в форме двухточечной краевой задачи	работы , РГЗ.	вычислительный эксперимент», «Основные особенности научных компьютерных вычислений», «Численные модели в форме СЛАУ», «Численные модели в форме нелинейных уравнений», «Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)»
ПК.1 способность строить простейшие физические и математические модели приборов, схем, устройств и установок электроники и наноэлектроники различного функционального назначения, а также использовать стандартные программные средства их компьютерного моделирования	у9. Уметь применять методы моделирования с целью эффективной оптимизации свойств материалов и компонентов нано- и микросистемной техники	Дидактическая единица:1 Математическое моделирование и вычислительный эксперимент 1.1 Модели диффузионных процессов для планарной технологии 1.2 Модели термического окисления кремния	Отчет по лабораторным работам 1-2	Зачет, вопросы по теме «Математическое моделирование и вычислительный эксперимент»,

2. Методика оценки этапов формирования компетенций в рамках дисциплины.

Промежуточная аттестация по дисциплине проводится в 5 семестре - в форме дифференцированного зачета, который направлен на оценку сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ПК.1.

Зачет проводится в устной форме по билетам.

Семестровый курс разбит на пять тем. В каждом билете содержатся 5 вопросов, каждый из которых соответствует какой-либо теме.

Кроме того, сформированность компетенций проверяется при проведении мероприятий текущего контроля, указанных в таблице раздела 1.

В 5 семестре обязательным этапом текущей аттестации являются расчетно-графическое задание (РГЗ), контрольная работа. Требования к выполнению РГЗ, контрольной работы, состав и правила оценки сформулированы в паспорте РГЗ, контрольной работы.

Общие правила выставления оценки по дисциплине определяются балльно-рейтинговой системой, приведенной в рабочей программе учебной дисциплины.

На основании приведенных далее критериев можно сделать общий вывод о сформированности компетенций ОПК.1, ОПК.2, ПК.1, за которые отвечает дисциплина, на разных уровнях.

Общая характеристика уровней освоения компетенций.

Ниже порогового. Уровень выполнения работ не отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, пробелы могут носить существенный характер, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы не достаточно, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий не выполнены или выполнены с существенными ошибками.

Пороговый. Уровень выполнения работ отвечает большинству основных требований, теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые виды заданий выполнены с ошибками.

Базовый. Уровень выполнения работ отвечает всем основным требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые из выполненных заданий, возможно, содержат ошибки.

Продвинутый. Уровень выполнения работ отвечает всем требованиям, теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки работы с освоенным материалом сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено числом баллов, близким к максимальному.

Паспорт зачета

по дисциплине «Методы математического моделирования», 5 семестр

1. Методика оценки

Зачет проводится в устной форме, по билетам. Билет формируется по следующему правилу:

первый вопрос выбирается из диапазона вопросов первой темы (из 5 возможных, см. список вопросов ниже), второй вопрос из диапазона вопросов 2 темы (из 5 возможных).

В ходе зачета преподаватель вправе задавать студенту дополнительные уточняющие вопросы по конспекту лекций.

Форма билета для зачета

НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
Факультет РЭФ

Билет № 1

к зачету по дисциплине «Методы математического моделирования»

1. Основные этапы моделирования. Прямая и обратная задачи
2. Модель Массарда для процесса термического окисления.

Утверждаю: зав. кафедрой _____ проф. Гайслер В.А.
(подпись)

(дата)

2. Критерии оценки

- Ответ на билет для зачета считается **неудовлетворительным**, если студент при ответе на вопросы не дает определений основных понятий, не способен показать причинно-следственные связи явлений, допускает принципиальные ошибки, оценка составляет менее 10 контрольных баллов зачета.
- Ответ на билет для зачета засчитывается на **пороговом** уровне, если студент при ответе на вопросы дает определение основных понятий, может показать причинно-следственные связи явлений, допускает непринципиальные ошибки, оценка составляет

10-12 контрольных баллов зачета.

- Ответ на билет для зачета засчитывается на **базовом** уровне, если студент при ответе на вопросы формулирует основные понятия, законы, дает характеристику процессов, явлений, проводит анализ причин, условий, может представить качественные характеристики процессов, не допускает ошибок при в процессе вычислений, оценка составляет 13-17 контрольных баллов зачета.
- Ответ на билет карточки для зачета билет засчитывается на **продвинутом** уровне, если студент при ответе на вопросы проводит сравнительный анализ подходов, проводит комплексный анализ, выявляет проблемы, предлагает механизмы решения, способен представить количественные характеристики определенных процессов, приводит конкретные примеры из практики, оценка составляет 18-20 контрольных баллов зачета.

3. Шкала оценки

Зачет считается сданным, если средняя сумма баллов по всем вопросам составляет не менее 10 баллов (по 20 бальной шкале).

Коэффициент, с которым учитывается полученная сумма баллов в общей оценке по дисциплине, определяется Правилами аттестации (балльно-рейтинговой системы) исходя из того, что максимальное количество баллов за зачет не может превышать 20 баллов.

4. Вопросы к зачету по дисциплине «Методы математического моделирования»

«Математическое моделирование и вычислительный эксперимент»

- 1.1 Первые понятия о математическом моделировании (ММ). Основные математические формы записи моделей.
- 1.2 Основные этапы моделирования. Черный ящик. Прямая и обратная задачи.
- 1.3 Основные характеристики математической модели. Особенности: иерархия моделей, метод аналогий; Понятия «катастрофа от изобилия» и «открытие на кончике пера».
- 1.3 Пример 1. Модель диффузии легирующей примеси в полупроводниковом кристалле.
- 1.4 Одномерные краевые задачи для модели диффузии, имеющие аналитическое решение: диффузия из бесконечного и конечного источников.
- 1.5 Пример 2. Уравнение непрерывности для электронов и дырок с учетом процессов генерации-рекомбинации.
- 1.6 Пример 3. Трехмерное уравнение теплопроводности (переноса тепла).
- 1.7 Пример 4. Модель процесса термического окисления Дила-Гроува в трех формах.
- 1.8 Пример 5. Модель диффузии, совместной с процессом термического окисления. Условие Аталлы-Танненбаума на границе Si/SiO₂.
- 1.9 Анализ математической модели. Теория размерностей. Асимптотика. Понятие о корректно поставленной задаче.
- 1.10 Общая схема классификации математических моделей. Факторы моделирования.
- 1.11 Вычислительный эксперимент. Факторы эффективности. Этапы. Триада Самарского и вычислительные технологии по Яненко.
- 1.12 Основные особенности вычислительного эксперимента в его сравнении с натуральным.

«Основные особенности научных компьютерных вычислений»

- 2.1 Специфические особенности компьютерного моделирования. Обусловленность. Классы погрешностей.
- 2.2 Пример 1. Ошибки при нахождении корней многочлена, обусловленные конечностью длины мантий.
- 2.3 Пример 2. Плохообусловленные СЛАУ.
- 2.4 Пример 3. Влияние формы записи, алгоритма и рационального приближения $\sqrt{2}$ на результат вычисления алгебраической дроби.
- 2.5 Пример 4. Вычисление значений $\exp(x)$ и $\sin(x)$ путем использования их разложения в ряд Тейлора.
- 2.6 Пример 5. Суперпозиция ошибок округления и математического приближения при вычислении производной.
- 2.7 Пример 6. Ошибки, обусловленные использованием рекуррентных формул при вычислении интегралов.
- 2.8 Пример 7. Распространение ошибок в начальных данных при решении задачи Коши.
- 2.9 Вычислительная машинная погрешность.
- 2.10 Компьютерное множество FL(R). Два класса параметров его описания.
- 2.11 Понятие о машинном эpsilon. Стандарт IEEE 754. Одинарная и двойная точность на PC.
- 2.12 Нарушение законов ассоциативности и дистрибутивности при компьютерных вычислениях.

«Численные модели в форме СЛАУ»

- 3.1 Пример 1. СЛАУ при решении задачи многочленной интерполяции.
- 3.2 Пример 2. СЛАУ при решении задачи аппроксимации экспериментальных данных методом наименьших квадратов.
- 3.3 Пример 3. СЛАУ при решении одномерной двухточечной краевой задачи. Понятие о разреженных матрицах.
- 3.4 Пример 4. СЛАУ на основе сетевых моделей
- 3.5 Вычислительные особенности СЛАУ. Понятия о векторах ошибки и невязки. Число обусловленности. Векторные и матричные нормы. Оценки векторов ошибки и невязки.
- 3.5 Вычислительная неэффективность правил Крамера при численном компьютерном решении СЛАУ.
- 3.6 Прямые численные методы. Метод Гаусса. Методики выбора ведущего элемента. Условия сходимости.
- 3.7 Прямые численные методы. Метод трехдиагональной прогонки.
- 3.8 Понятие об итерационных численных методах. Основные методы завершения итерационного процесса.
- 3.9 Итерационный метод простой итерации. Условия сходимости.
- 3.10 Итерационный метод Гаусса-Зейделя. Его геометрическая интерпретация.
- 3.11 Ускорение сходимости методом релаксации.

«Численные модели в форме нелинейных уравнений»

- 4.1 Пример 1. Модель глубины p - n -перехода.
- 4.2 Пример 2. Модель промерзания Земли. Неоднородные условия.
- 4.3 Оценка возраста Земли по методике Кельвина.
- 4.4 Пример 3. Модель ВАХ реального диода с учетом сопротивления базы.
- 4.5 Особенности численных методов решения нелинейного уравнения.
- 4.6 Метод биекции.
- 4.7 Метод Ньютона (метод касательных).
- 4.8 Метод секущих (метод хорд).
- 4.9 Метод простой итерации.
- 4.10 Системы нелинейных уравнений (СНУ). Пример 4. Равновесная концентрационная модель в полупроводнике.
- 4.11. СНУ. Пример 5. Численная электрофизическая модель границ ОПЗ p - n -перехода.
- 4.12 СНУ. Пример 6. Разностная модель для диода Шоттки.
- 4.13 Метод Ньютона для численного решения системы нелинейных уравнений. Матрица Якоби.
- 4.14 Метод простой итерации для численного решения системы нелинейных уравнений.

«Численные модели в форме обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ)»

- 5.1 Два основных класса моделей в форме ОДУ. Основные понятия о задаче Коши.
- 5.2 Простейшие модели в форме ОДУ: модель остывания чайника; модель Бургера-Ламберта; модель RC-цепочки.
- 5.3 Модели фотогенерации и релаксации избыточных неосновных носителей в тонкой полупроводниковой пластине.
- 5.4 Модель ударной ионизации в канале МОП транзистора.
- 5.5 Модель Масссауда для процесса термического окисления.
- 5.6 Модель Пирсона для процесса ионного легирования
- 5.7 Химико-технологические модели в форме задачи Коши: модель о растворении сахара; модель кинетической реакции 2-го порядка.
- 5.8 Численная модель о концентрации озона в атмосфере.
- 5.9 Биологические модели роста: модель «хищник-жертва» Лотки-Вольтерра; модель роста населения Земли.
- 5.10 Математические особенности двухточечной краевой задачи. Условия Дирихле и Неймана.
- 5.11 Модель о переносе тепла в тонком стержне, находящемся в режиме стационарного теплообмена с окружающей средой.
- 5.12 Модель процесса диффузии, сопровождающейся химической реакцией (диффузия окислителя в SiO_2 в процессе термического окисления).
- 5.13 Модель о распределении потенциала в полупроводнике под действием электрического поля у поверхности (эффект поля).

Вопросы составил _____ доц. Калинин С.В. декабрь 20__

Паспорт контрольной работы

по дисциплине «Методы математического моделирования», 5 семестр

1. Методика оценки

Контрольная работа проводится по всем пяти темам курса, которые перегруппированы в три раздела: «Общие вопросы моделирования», «Математический инструмент моделирования», «Математические модели физических процессов в микроэлектронике». В каждом разделе содержится более 10 вопросов или задач. Выполняется устно.

2. Критерии оценки

Каждое задание контрольной работы оценивается в соответствии с приведенными ниже критериями.

Контрольная работа считается **невыполненной**, если выполнено менее 50% заданий. Оценка составляет 0-4 баллов.

Работа выполнена на **пороговом** уровне, если выполнено 50-60% заданий. Оценка составляет 5-6 баллов.

Работа выполнена на **базовом** уровне, если выполнено 70-80% заданий. Оценка составляет 7-8 баллов.

Работа считается выполненной на **продвинутом** уровне, если выполнено не менее 90% заданий. Оценка составляет 9-10 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за контрольную работу учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Пример варианта контрольной работы

– Пример вопроса из раздела «Общие вопросы моделирования»

Тело массой m брошено строго вертикально вверх с начальной скоростью v_0 . Пусть $x(t)$ – это координата положения тела в момент t .

- Исходя из второго закона Ньютона найдите функцию $x(t)$;
- Вычислите максимальную высоту подъёма;
- Найдите момент времени, когда тело вернется на Землю;
- Постройте график функции $x(t)$.

– Пример вопроса из раздела «Математический инструмент моделирования»

Выпишите общие решения двух дифференциальных уравнений 2-го порядка

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = y \quad \frac{d^2 y}{dx^2} + y = 0.$$

Найдите частные решения, соответствующие на отрезке $[0,1]$ двухточечной краевой

задачи вида: $y|_{x=0} = 0 \quad y|_{x=1} = 0$.

– Пример вопроса из раздела «Математические модели физических процессов в микроэлектронике»

Предположим, что имеется полупроводниковый образец в виде одномерного стержня, вдоль которого в следствие неоднородного легирования существует встроенное электрическое поле. Сам образец находится в состоянии равновесия. Постройте математическую модель, описывающую величину напряженности встроенного поля и разность потенциалов на концах образца. Объясните, почему эту разность потенциалов нельзя измерить вольтметром?

Паспорт расчетно-графического задания (работы)

по дисциплине «Методы математического моделирования», 5 семестр

1. Методика оценки

В рамках расчетно-графического задания (работы) по дисциплине студенты построить модель предложенного технологического процесса, провести оценочные расчеты по модели и оптимизировать параметры в соответствии с технологическими требованиями. Так же студенты должны выбрать подходящий численный метод для решения нелинейного уравнения (системы уравнений) и численно рассчитать корни.

Обязательные структурные части РГЗ содержат в себе:

- описание математической модели технологического процесса;
- оценочные расчеты по этой модели, обеспечивающие необходимые требования;
- обоснование выбора численного решения нелинейного уравнения и вычисление его корня или других требуемых параметров процесса.

2. Критерии оценки

- Работа считается **не выполненной**, если выполнены не все части РГЗ(Р), отсутствует модель техпроцесса, нет корректных расчетных оценок заданных параметров, не обоснован выбор численного метода для решения нелинейного уравнения и не вычислены его корни. Оценка в этом случае составляет 0-4 баллов.
- Работа считается выполненной **на пороговом** уровне, если некоторые части РГЗ(Р) выполнены формально: нет анализа и обоснования выбора модели, в процессе расчета не обеспечены требуемые параметры, не обоснован выбор численного метода для нахождения корней нелинейного уравнения и не точно найдены корни. Оценка в этом случае составляет 5-6 баллов.
- Работа считается выполненной **на базовом** уровне, если моделирование техпроцесса в целом выполнено, оценки параметров получены, корни нелинейного уравнения найдены, но нет обоснования для выбора численного метода и точность расчетов недостаточна. Оценка в этом случае составляет 7-8 баллов.
- Работа считается выполненной **на продвинутом** уровне, если моделирование технологического процесса, оценки параметров, выбор численного метода и нахождение корней уравнения выполнены с достаточной точностью. Оценка в этом случае составляет 9-10 баллов.

3. Шкала оценки

В общей оценке по дисциплине баллы за РГЗ(Р) учитываются в соответствии с правилами балльно-рейтинговой системы, приведенными в рабочей программе дисциплины.

4. Примерный перечень тем РГЗ(Р)

Примерный образец задания по моделированию технологического процесса:

—Мышьяк загоняется в кремниевую пластину с концентрацией бора $C_B = 10^{15}$ атом/см³ из газовой фазы при $T = 1200^\circ\text{C}$. При этом общая доза введенной примеси на единицу площади равна 10^{14} атомов/см². Определите время загонки мышьяка, если глубина p-n перехода составила 1 мкм. В данной задаче принять, что параметры коэффициента

диффузии для мышьяка равны – $D_0=24 \text{ см}^2/\text{с}$, а $E_A=4,08 \text{ эВ}$.

Примерный образец задания по численному решению нелинейного уравнения:

—Покажите, что если интервал, на котором содержится корень уравнения $f(x)=0$ равен единице, то для вычисления четырех верных знаков корня потребуется не менее 14 итераций методом бисекции.