

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
физики твердого тела и наноструктур



(Середин П.В.)
31.08.2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.О.10 Методы математического моделирования

1. Код и наименование направления подготовки/специальности: 11.04.04

Электроника и наноэлектроника

2. Профиль подготовки/специализация:

Материалы и устройства твердотельной электроники

3. Квалификация выпускника: *Магистр*

4. Форма образования: *очная*

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

физики твердого тела и наноструктур

6. Составители программы: *Курганский Сергей Иванович,*

доктор физ.-мат. наук, профессор

7. Рекомендована: *НМС физического факультета протокол №6 от 26.06.2024*

8. Учебный год: 2024–2025

Семестр: 1

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

формирование у обучающихся знаний, умений, навыков и компетенций, необходимых для использования математического аппарата при освоении теоретических основ и практическом использовании физических методов в инженерной деятельности.

Задачи учебной дисциплины:

- расширить представления о возможностях математического моделирования, классификации математических моделей и области их применения;
- рассмотреть функциональную схему математического моделирования;
- изучение методов численного анализа; методов синтеза и исследования моделей;
- познакомить обучающихся с требованиями к программным комплексам для математического моделирования;
- овладеть навыками использования математического аппарата для решения физических и технических задач;
- овладеть навыками построения математических моделей, определяющих научную, практическую и экономическую эффективность решения различных задач по производству изделий электроники и наноэлектроники;
- овладеть навыками практической работы с программными пакетами математического моделирования.

10. Место учебной дисциплины в структуре ОПОП: обязательная часть блока Б1 «Дисциплины и модули».

В результате прохождения данной дисциплины обучающийся должен приобрести знания, умения, навыки общепрофессиональных компетенций, необходимых для обеспечения трудовых функций:

С/02.7 «Расчёт, моделирование и трассировка отдельных частей изделий «система в корпусе»» профессионального стандарта 29.006 «Специалист по проектированию систем в корпусе»;

В/03.7 «Моделирование функционального описания с использованием программ событийного и/или временного моделирования»; В/04.7 «Моделирование разработанных цифровых блоков в составе всей системы в целом»; В/05.7 «Проведение программно-аппаратной верификации СнК»; Е/02.7 «Проектировка поведенческой модели аналоговой части проекта для моделирования в составе всей системы в целом»; Е/05.7 «Моделирование и анализ результатов моделирования отдельных аналоговых блоков и аналоговой части в целом»; профессионального стандарта 40.016 «Инженер в области проектирования и сопровождения интегральных схем и систем на кристалле».

При изучении дисциплины студент закрепляет знания, умения и навыки, полученные при изучении математических и общепрофессиональных дисциплин программ бакалавриата по направлению 11.03.04 «Электроника и наноэлектроника» и получает знания, умения и навыки, необходимые при изучении специальных дисциплин, прохождения практик и выполнения магистерской диссертации.

11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-2	Способен применять современные методы исследования, представ-	ОПК-2.1	Применяет современные методы научного анализа, проведения исследований и пред-	Знать: современные методы научного анализа, проведения исследований и представления результатов исследова-

	лять и аргументировано защищать результаты выполненной работы		ставления результатов исследований	ний
				Уметь: применять современные методы научного анализа, проведения исследований и представления результатов исследований
				Владеть: навыками применения современных методов научного анализа, проведения исследований и представления результатов исследований
		ОПК-2.2	Формулирует задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования	Знать: способы формулирования задач исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования
				Уметь: формулировать задачи исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования
				Владеть: навыками формулирования задач исследования и оптимизации сложных объектов на основе методов математического моделирования
ОПК-2.3	Аргументирует и защищает результаты научных исследований	Знать: способы аргументирования и защиты результатов научных исследований		
		Уметь: аргументировать и защищать результаты научных исследований		
		Владеть: навыками аргументирования и защиты результатов научных исследований		
ОПК-3	Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач	ОПК-3.1	Применяет современные информационные технологии для повышения эффективности научной и образовательной сфер деятельности	Знать: современные информационные технологии для повышения эффективности научной и образовательной сфер деятельности
				Уметь: применять современные информационные технологии для повышения эффективности научной и образовательной сфер деятельности
				Владеть: навыками применения современных информационных технологий для повышения эффективности научной и образовательной сфер деятельности
		ОПК-3.3	Предлагает на основе полученной информации новые идеи и оценивает возможности	Знать: способы предложения на основе полученной информации новых идей и оценки возможности их реализации

			ность их реализации при решении инженерных задач в профессиональной сфере деятельности	при решении инженерных задач в профессиональной сфере деятельности
				Уметь: предлагать на основе полученной информации новые идеи и оценивает возможность их реализации при решении инженерных задач в профессиональной сфере деятельности
				Владеть: навыками предложения на основе полученной информации новых идей и оценки возможности их реализации при решении инженерных задач в профессиональной сфере деятельности

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час. — 3 / 108.

Форма промежуточной аттестации Экзамен

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы		Трудоемкость	
		Всего	По семестрам 1 семестр
Аудиторные занятия		44	44
в том числе:	лекции	14	14
	лабораторные	30	30
Самостоятельная работа		28	28
Форма промежуточной аттестации - экзамен		36	36
Итого:		108	108

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины
1. Лекции		
1.1	Технология математического моделирования и ее этапы	Моделирование как метод познания. Классификация моделей и этапы разработки. Иерархический принцип построения математических моделей. Взаимосвязь моделей в цикле проектирования. Методы синтеза и исследования моделей.
1.2	Вычислительные методы в инженерных расчетах	Основы теории погрешностей. Аппроксимация функциональных зависимостей. Интерполяция. Обработка экспериментальных данных. Численное дифференцирование и интегрирование. Методы решения дифференциальных уравнений. Вычислительные методы линейной алгебры. Решение нелинейных уравнений.
1.3	Математические методы оптимального проектирования технических объектов и технологических процессов.	Критерии оптимальности технических объектов. Постановка задачи оптимального проектирования. Классификация методов оптимизации. Одномерная оптимизация. Задачи на экстремум. Методы поиска. Методы дихотомии, Фибоначчи и золотого сечения. Многомерная оптимизация. Метод покоординатного спуска. Метод градиентного спуска. Задачи с ограничениями. Нелинейная параметрическая оптимизация.
1.4	Программные пакеты	Методы математического моделирования приборов и техно-

	компьютерного моделирования	логических процессов с использованием современных информационных технологий. Пакет прикладных программ и интерактивная среда для решения задач технических вычислений MatLab. Инженерное математическое и программное обеспечение MathCAD. Программное обеспечение для системного проектирования LabView. Среда приборно-технологического проектирования Sentaurus TCAD. Программный пакет для расчетов атомной и электронной структуры и свойств наночастиц Gaussian. Программная среда для моделирования электронных свойств твердых тел и наносистем Wien2k. Интегрированная среда для моделирования электронной структуры и физических свойств материалов на наноуровне Quantum Espresso. Функционально-логическое и временное моделирование в среде САПР Quartus II.
2. Лабораторные занятия		
2.1	Технология математического моделирования и ее этапы	
2.2	Вычислительные методы в инженерных расчетах	Лабораторная работа 1. Компьютерное моделирование одномерных процессов диффузии Лабораторная работа 2. Компьютерное моделирование многомерных процессов диффузии Лабораторная работа 3. Вычисление определенных интегралов по методу Ньютона-Котеса Лабораторная работа 4. Решение дифференциальных уравнений по методу прогноза и коррекции
2.3	Математические методы оптимального проектирования технических объектов и технологических процессов.	Лабораторная работа 5. Оптимизация атомной структуры кремниевых нанокластеров Лабораторная работа 6. Оптимизация атомной структуры кремний-металлических нанокластеров
2.4	Программные пакеты компьютерного моделирования	Лабораторная работа 7. Компьютерное моделирование электронной структуры и физических свойств нанокластеров Лабораторная работа 8. Компьютерное моделирование электронной структуры и физических свойств нанослоев Лабораторная работа 9. Оптимальное проектирование технологии, моделирование и исследование электрофизических параметров n-МОП структур Лабораторная работа 10. Компьютерное функционально-логическое моделирование и оптимизация временных характеристик программируемых логических интегральных схем

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)			
		Лекции	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1	Технология математического моделирования и ее этапы	2		4	6
2	Вычислительные методы в инженерных расчетах	4	8	6	18
3	Математические методы оптимального проектирования технических объектов и технологических процессов.	4	8	6	18
4	Программные пакеты компьютерного моделирования	4	14	12	30
	Итого:	14	30	28	72

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изучение дисциплины «Методы математического моделирования» предусматривает осуществление учебной деятельности состоящей из двух частей: обучения студентов преподавателем и самостоятельной учебной деятельности студентов по изучению дисциплины.

Дисциплина «Методы математического моделирования» реализуется с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий.

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

Подготовка к лекциям является одним из видов самостоятельной работы студентов-магистров. Студентам, чтобы хорошо овладеть учебным материалом, необходимо выработать навыки правильной и планомерной работы. Перед началом лекционных занятий надо просмотреть все, что было сделано в предыдущий раз. Это позволит сосредоточить внимание и восстановить в памяти уже имеющиеся знания по данному предмету. Кроме того, такой метод поможет лучше запомнить как старое, так и новое, углубит понимание того и другого, так как при этом устанавливаются связи нового со старым, что является не только обязательным, но и основным условием глубокого овладения материалом. Чем детальнее изучаемое ассоциируется с известным ранее, тем прочнее сохраняется в памяти и быстрее вспомнить, когда требуется.

Приступая к изучению нового материала, необходимо сосредоточиться, т.е. сконцентрировать внимание и не отвлекаться от выполняемой работы, помня, что желание запомнить является гарантией успешной работы, отсутствие же воли к запоминанию снижает эффект восприятия.

Следует помнить о том, что через лекцию передается не только систематизированный теоретический материал, но и постигается методика научного исследования и умение самостоятельно работать, анализировать различного рода явления.

Записывать на лекции необходимо главное, не стремясь зафиксировать все слово в слово. Выбрать же главное без понимания предмета невозможно. Наличие собственного конспекта лекций позволяет еще раз ознакомиться, продумать, разобраться в новом материале, так как недостаточно хорошо понятые во время лекции положения могут быть восстановлены в памяти, сопоставлены с другими, додуманы, дополнены, уяснены и расширены с помощью учебной литературы. Записи являются пособиями для повторения, дают возможность охватить содержание лекции и всего курса в целом.

При этом хорошо овладеть содержанием лекции – это:

- знать тему;
- понимать значение и важность ее в данном курсе;
- четко представлять план;
- уметь выделить основное, главное;
- усвоить значение примеров и иллюстраций;
- связать вновь полученные сведения о предмете или явлении с уже имеющимися;
- представлять возможность и необходимость применения полученных сведений.

Существует несколько общих правил работы на лекции:

- лекции по каждому предмету записывать удобнее в отдельных тетрадях, оставляя широкие поля для пометок;

- к прослушиванию лекций следует готовиться, что позволит в процессе лекции отделить главное от второстепенного;

- лекции необходимо записывать с самого начала, так как оно часто бывает ключом ко всей теме;

- так как дословно записать лекцию невозможно, то необходимо в конспекте отражать: формулы, определения, схемы, трудные места, мысли, примеры, факты и положения от которых зависит понимание главного, новое и незнакомое, неопубликованные данные, материал отсутствующий в учебниках и т.п.;

- записывать надо сжато;

- во время лекции важно непрерывно сохранять рабочую установку, умственную активность.

Изучение теоретического материала в данном курсе не ограничивается подготовкой к лекциям и работой на данном виде занятий. Лекционная часть курса органически взаимосвязана с иными видами работ: написанием рефератов, участием в лабораторных занятиях, подготовкой и сдачей экзамена по дисциплине, в структуре которых также большое значение имеет самостоятельная работа студента.

Самостоятельная работа обучающихся наряду с аудиторной представляет одну из форм учебного процесса и является существенной ее частью, что наиболее ярко представлено в процессе подготовки бакалавров. Последнее обусловлено тем, что самостоятельная работа предназначена для формирования навыков самостоятельной работы как вообще, так и в учебной, научной деятельности, формирование и развитие способности принимать на себя ответственность, самостоятельно решать проблему, находить конструктивные решения, выход из кризисной ситуации и т.д.

Самостоятельная работа формирует самостоятельность не только как совокупность умений и навыков, но и как черту характера, играющую существенную роль в структуре личности современного специалиста высшей квалификации. Она воспитывает самостоятельность как черту характера. Никакие знания, полученные на уровне пассивного восприятия, не ставшие объектом собственной умственной или практической работы, не могут считаться подлинным достоянием человека.

Давая возможность расширять и обогащать знания, умения по индивидуальным направлениям, самостоятельная работа обучающегося позволяет создать разносторонних специалистов. В процессе самостоятельной работы развивают творческие возможности обучающегося, при этом самостоятельная работа завершает задачи всех видов учебной работы.

Самостоятельная работа - это планируемая работа обучающихся, выполняемая по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия. Преподаватель, ведущий занятия, организует, направляет самостоятельную работу обучающихся и оказывает им необходимую помощь. Однако самостоятельность обучающихся должна превышать объем работы, контролируемой преподавателем работы, и иметь в своей основе индивидуальную мотивацию обучающегося по получению знаний, необходимых и достаточных для будущей профессиональной деятельности в избранной сфере. Преподаватель при необходимости может оказывать содействие в выработке и коррекции данной мотивации, лежащей в основе построения самостоятельной деятельности обучающегося по изучению дисциплины, получению необходимых знаний и навыков.

Получение образования предполагает обучение решению задач определенной сферы деятельности. Однако как бы хорошо не обучались обучающиеся способам решения задач в аудитории, сформировать средства практической деятельности не удастся, так как каждый случай практики особый и для его решения следует выработать особый профессиональный стиль мышления.

Основой самостоятельной работы служит научно-теоретический курс, комплекс полученных обучающимся знаний. Основной, наиболее экономичной формой получения и усвоения информации, теоретических знаний в вузе является лекция, позволяющая вос-

принять значительную сумму основных знаний и потому способствующая повышению продуктивности всех других форм учебного труда.

Результат обучения и самостоятельной работы обучающегося предполагает наличие следующих составляющих:

- понимание методологических основ построения изучаемых знаний;
- выделение главных структур учебного курса;
- формирование средств выражения в данной области;
- построение методик решения задач и ориентации в проблемах (ситуациях).

Самостоятельная работа обучающихся при изучении «Методов математического моделирования» включает в себя: подготовку и участие в изучении теоретической части курса, выполнение лабораторных работ, подготовку к экзамену.

Самостоятельная работа студента при изучении дисциплины «Методы математического моделирования» включает в себя:

изучение теоретической части курса	– 8 часов
подготовку к лабораторным занятиям	– 10 часов
написание отчетов по лабораторным работам	– 10 часов
итога	– 28 часов

Подготовка к экзамену – 36 часов

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1.	Волков, Е. А. Численные методы : учебное пособие для вузов / Е. А. Волков. — 6-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 252 с. — ISBN 978-5-8114-7899-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167179
2.	Ибрагимов, И. М. Основы компьютерного моделирования наносистем : учебное пособие / И. М. Ибрагимов, А. Н. Ковшов, Ю. Ф. Назаров. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 384 с. — ISBN 978-5-8114-1032-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167744
3.	Поршнеv, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB : учебное пособие / С. В. Поршнеv. — 2-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 736 с. — ISBN 978-5-8114-1063-7. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167842
4.	Бахвалов, Н. С. Численные методы: анализ, алгебра, обыкновенные дифференциальные уравнения / Н.С. Бахвалов ; ред. И. М. Овчинникова ; ред. Е. В. Шикин .— Москва : Наука, 1975 .— 632 с. : ил. — http://biblioclub.ru/ .— <URL: http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=456941 >.
5.	Срочко, В. А. Численные методы. Курс лекций : учебное пособие / В. А. Срочко. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 208 с. — ISBN 978-5-8114-1014-9. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167781
6.	Демидович, Б. П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения : учебное пособие / Б. П. Демидович, И. А. Марон, Э. З. Шувалова. — 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 400 с. — ISBN 978-5-8114-0799-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/167810
7.	Квасов, Б. И. Численные методы анализа и линейной алгебры. Использование Matlab и Scilab : учебное пособие / Б. И. Квасов. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 328 с. — ISBN 978-5-8114-2019-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: https://e.lanbook.com/book/168887

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
8.	Федоренко, Ю. П. Алгоритмы и программы на С++ Builder [Электронный ресурс] / Федоренко Ю. П. — Москва : ДМК Пресс, 2010 .— 544 с. — Книга из коллекции ДМК Пресс - Информатика .— ISBN 978-5-94074-607-2 .— <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=1265 >.
9.	Федоренко, Радий Петрович. Введение в вычислительную физику : [учебное пособие для вузов] / Р.П. Федоренко ; под ред. и с доп. А.И. Лобанова .— 2-е , испр. и доп. изд. — Долгопрудный : Интеллект, 2008 .— 503 с . (54)
10.	Самарский, А.А. Математическое моделирование. Идеи. Методы. Примеры / А. А. Самарский, А. П. Михайлов .— Изд. 2-е, испр. — М. : Физматлит, 2005.— 316 с. (4)
11.	Самарский, А.А. Введение в численные методы : учебное пособие для вузов / А. А. Самарский ; Моск. гос. ун-т им. М. В. Ломоносова .— Изд. 3-е, стер. — СПб. : Лань, 2005 .— 288 с. (5)
12.	Волков, Е. А. Численные методы [Электронный ресурс] / Волков Е. А. — 5-е изд. — Санкт-Петербург : Лань, 2008 .— 256 с. — Книга из коллекции Лань - Математика .— ISBN 978-5-8114-0538-1 .— <URL: http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_cid=25&pl1_id=54 >.
13.	Шевцов, Георгий Семенович. Линейная алгебра: теория и прикладные аспекты : учебное пособие для мат. направлений и специальностей / Г.С. Шевцов .— М. : Финансы и статистика, 2003 .— 575 с. — ISBN 5-279-02557-7. (19)
14.	Шевченко Г.И. Численные методы [Электронный ресурс] : лабораторный практикум / Г.И. Шевченко, Т.А. Куликова. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2016. — 107 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/62885.html
15.	Зенков А.В. Численные методы [Электронный ресурс] : учебное пособие / А.В. Зенков. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2016. — 124 с. — 978-5-7996-1781-3. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/68315.html
16.	Крахоткина Е.В. Численные методы в научных расчетах [Электронный ресурс] : учебное пособие. Курс лекций / Е.В. Крахоткина. — Электрон. текстовые данные. — Ставрополь: Северо-Кавказский федеральный университет, 2015. — 162 с. — 2227-8397. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/62884.html
17.	Пименов В.Г. Численные методы. Часть 1 [Электронный ресурс] : учебное пособие / В.Г. Пименов. — Электрон. текстовые данные. — Екатеринбург: Уральский федеральный университет, 2013. — 112 с. — 978-5-7996-1032-6. — Режим доступа: http://www.iprbookshop.ru/68410.html

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)*:

№ п/п	Ресурс
18.	http://www.lib.vsu.ru – Зональная научная библиотека ВГУ
19.	http://www.moodle.vsu.ru
20.	https://e.lanbook.com – ЭБС «Лань»
21.	https://biblioclub.ru – ЭБС «Университетская библиотека онлайн»
22.	www.iprbookshop.ru – ЭБС «IPRbooks»
23.	https://elibrary.ru – Научная электронная библиотека
24.	https://edu.vsu.ru – Образовательный портал "Электронный университет ВГУ"

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
-------	----------

1.	Курганский, С.И. Разработка проектов в среде САПР QUARTUS II. Часть 1. Основные этапы проектирования: учебно-методическое пособие / С.И. Курганский, О.И. Дубровский, Е.Р. Лихачев, М.Д. Манякин // Воронежский государственный университет. - Воронеж. - 2016. - 34 с. – URL : http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-265.pdf
2.	Манякин, М.Д. Программный пакет Wien2K. Часть 1. Моделирование электронной структуры кристаллов. Зонная структура и плотность состояний: учебно-методическое пособие / М.Д. Манякин, О.И. Дубровский, Е.Р. Лихачев, С.И. Курганский // Воронежский государственный университет. - Воронеж. - 2015- 48 с. – URL : http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m15-265.pdf
3.	Манякин, М.Д. Программный пакет Wien2K. Часть 2. Моделирование рентгеновских эмиссионных и абсорбционных спектров: учебно-методическое пособие / М.Д. Манякин, О.И. Дубровский, Е.Р. Лихачев, С.И. Курганский // Воронежский государственный университет. - Воронеж. - 2017- 31 с. – URL : http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m17-154.pdf
4.	Быкадорова Г.В. Практикум по курсу "Проектирование и технология электронной компонентной базы" [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие для вузов : [для студ. 1 к. очной формы обучения физ. фак., ; для направления 210100 - Электроника и микроэлектроника (профили подготовки Микроэлектроника и твердотельная электроника, Наноэлектроника) / Воронеж. гос. ун-т ; сост. : Г.В. Быкадорова, А.Ю. Ткачев .— Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014 . – 32 с.
5.	Курганский, С.И. Методы зонной теории. Часть 1. Методические указания по курсу «Вычислительные методы в теории твердого тела» / С.И. Курганский, Н.С. Переславцева, О.И. Дубровский. – Воронежский государственный университет. - Воронеж. - 2006. - 20 с. – URL : http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/sep06011.pdf
6.	Курганский, С.И.,. Вычислительные методы для физиков. Часть 1. Аппроксимация функций, численное дифференцирование / С.И Курганский, О.И. Дубровский, Л.И. Куркина. – Воронежский государственный университет. - 1998. - 24 с.
7.	Курганский, С.И. Вычислительные методы для физиков. Часть 2. Численное интегрирование, численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений / С.И Курганский, О.И. Дубровский, Л.И. Куркина. – Воронежский государственный университет. - 1999. - 32 с.
8.	Курганский С.И. Вычислительные методы для физиков. Часть 3. Численные методы линейной алгебры, методы решения нелинейных уравнений / С.И Курганский, О.И. Дубровский, Л.И. Куркина. – Воронежский государственный университет. - 1999. - 16 с.
9.	Курганский, С.И. Задачи по численным методам. Учебно-методическое пособие для вузов / С.И. Курганский, О.И. Дубровский, Е.Р. Лихачев // Воронежский государственный университет. – Воронеж. – 2013. - 33 с. – URL : https://lib.vsu.ru/zgate?present+5585+default+61+1+F+1.2.840.10003.5.102+rus
10.	Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие / Воронеж. гос. ун-т ; сост.: Д.В. Костин, М.Н. Небольсина .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018 . Режим доступа http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-66.pdf
11.	Численные методы оптимизации [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. Ч. 1 / Воронеж. гос. ун-т ; сост. Н.В. Сапкина .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017. Режим доступа http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m17-55.pdf
12.	Численные методы оптимизации [Электронный ресурс] : учебно-методическое пособие. Ч. 2 / Воронеж. гос. ун-т ; сост. Н.В. Сапкина .— Электрон. текстовые дан. — Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2018. Режим доступа http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/m18-138.pdf

17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

В учебном процессе используются следующие образовательные технологии. По образовательным формам: лекции; лабораторные занятия; индивидуальные занятия. По преобладающим методам и приемам обучения: объяснительно-иллюстративные (объяснение, показ–демонстрация учебного материала и др.); активные (анализ учебной и научной литературы, составление схем и др.) и интерактивные, в том числе и групповые (взаимное обучение в форме подготовки и обсуждения докладов); информационные; компьютерные; мультимедийные (работа с сайтами академических структур, научно-исследовательских организаций, электронных библиотек и др., разработка презентаций, сообщений и докладов, работа с электронными обучающими программами и т.п.).

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Лабораторные работы выполняются в лаборатории компьютерных технологий, САПР и математического моделирования кафедры физики твердого тела и наноструктур: компьютеры AMD Ryzen 5 3500/GIGABYTE B450M - 7 шт., компьютеры Pentium Intel Core Duo - 3 шт., с лицензионным программным обеспечением:

Microsoft Windows 10 (договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019);

Microsoft Windows 7 (договор 3010-15/207-19 от 30.04.2019);

Quartus II (version 9.1 лицензия Build 304 01/25/2010 WebEdition);

Wien2k (лицензия W2k-3039 от 18.09.2018);

Quantum Espresso (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <http://www.quantum-espresso.org/download>);

Gaussian 09 (лицензия Rev D.01 S/N FA7355682010);

Lazarus (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.lazarus-ide.org/index.php>);

Free Pascal (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://www.freepascal.org/faq.html>);

LibreOffice (GNU Lesser General Public License (LGPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://ru.libreoffice.org/about-us/license/>);

MiKTeX (Free Software Foundation (FSF), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://miktex.org/copying>);

TeXstudio (GNU General Public License (GPL), бесплатное и/или свободное ПО, лицензия: <https://texstudio.org/>);

Реализация дисциплины с применением электронного обучения и дистанционных образовательных технологий осуществляется через образовательный портал "Электронный университет ВГУ".

19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Технология математического моделирования и ее этапы	ОПК-2	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3	Устный опрос
2.	Вычислительные методы в инженерных расчетах	ОПК-2	ОПК-2.1 ОПК-2.2	Лаб. работы 1 – 4

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
			ОПК-2.3	
3.	Математические методы оптимального проектирования технических объектов и технологических процессов.	ОПК-2	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3	Лаб. работы 5, 6
		ОПК-3	ОПК-3.1 ОПК-3.3	
4.	Программные пакеты компьютерного моделирования	ОПК-2	ОПК-2.1 ОПК-2.2 ОПК-2.3	Лаб. работы 7 – 10
		ОПК-3	ОПК-3.1 ОПК-3.3	
Промежуточная аттестация - экзамен				Комплект КИМ

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Текущий контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: отчеты о выполнении лабораторных работ.

Перечень тем лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Компьютерное моделирование одномерных процессов диффузии

Лабораторная работа 2. Компьютерное моделирование многомерных процессов диффузии

Лабораторная работа 3. Вычисление определенных интегралов по методу Ньютона-Котеса

Лабораторная работа 4. Решение дифференциальных уравнений по методу прогноза и коррекции

Лабораторная работа 5. Оптимизация атомной структуры кремниевых нанокластеров

Лабораторная работа 6. Оптимизация атомной структуры кремний-металлических нанокластеров

Лабораторная работа 7. Компьютерное моделирование электронной структуры и физических свойств нанокластеров

Лабораторная работа 8. Компьютерное моделирование электронной структуры и физических свойств нанослоев

Лабораторная работа 9. Оптимальное проектирование технологии, моделирование и исследование электрофизических параметров n-МОП структур

Лабораторная работа 10. Компьютерное функционально-логическое моделирование и оптимизация временных характеристик программируемых логических интегральных схем

Для текущего контроля успеваемости используется устный опрос, отчеты о ходе выполнения лабораторных работ, на основе которых выставляется предварительная оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно/неудовлетворительно*.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности	Шкала предварительных оце-
---------------------------------	--------------------------	----------------------------

	компетенций	НОК
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для выполнения тестов решения практических задач при выполнении лабораторных работ	Повышенный уровень	<i>Отлично</i>
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), допускает незначительные ошибки при выполнении тестов и лабораторных задач	Базовый уровень	<i>Хорошо</i>
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен проходить тестирование и выполнять лабораторные задания	Пороговый уровень	<i>Удовлетворительно</i>
Неудовлетворительное выполнение тестовых заданий. Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при выполнении практических задач лабораторных работ	–	<i>Неудовлетворительно</i>

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Комплект КИМ

Контрольно-измерительный материал № 1

1. Моделирование как метод познания. Классификация моделей и этапы разработки.
2. Компьютерное функционально-логическое моделирование программируемых логических интегральных схем в среде САПР Quartus II.

Контрольно-измерительный материал № 2

1. Иерархический принцип построения математических моделей. Взаимосвязь моделей в цикле проектирования.
2. Системные средства САПР TCAD.

Контрольно-измерительный материал № 3

1. Методы синтеза и исследования моделей.
2. Компьютерное моделирование электронных свойств двумерных наноструктур.

Контрольно-измерительный материал № 4

1. Основы теории погрешностей.
2. Программная среда для моделирования электронных свойств твердых тел и наносистем Wien2k.

Контрольно-измерительный материал № 5

1. Обработка экспериментальных данных.
2. Оптимизация временных характеристик программируемых логических интегральных схем в среде САПР Quartus II.

Контрольно-измерительный материал № 6

1. Численное дифференцирование и интегрирование.
2. Интегрированная среда для моделирования электронной структуры и физических свойств материалов на наноуровне Quantum Espresso.

Контрольно-измерительный материал № 7

1. Физическое и математическое моделирование процессов в микроэлектронике как инструмент оптимизации параметров ИС
2. Инженерное математическое и программное обеспечение MathCAD

Контрольно-измерительный материал № 8

1. Методы решения дифференциальных уравнений.
2. Критерии оптимальности технических объектов. Постановка задачи оптимального проектирования.

Контрольно-измерительный материал № 9

1. Вычислительные методы линейной алгебры.
2. Программное обеспечение для системного проектирования LabView.

Контрольно-измерительный материал № 10

1. Решение нелинейных уравнений.
2. Компьютерное моделирование и оптимизация атомной структуры и исследование электронных свойств нанокластеров.

Контрольно-измерительный материал № 11

1. Одномерная оптимизация. Методы дихотомии, Фибоначчи и золотого сечения.
2. Методы математического моделирования приборов и технологических процессов с использованием современных информационных технологий.

Контрольно-измерительный материал № 12

1. Классификация методов оптимизации. Одномерная оптимизация. Задачи на экстремум.
2. Пакет прикладных программ и интерактивная среда для решения задач технических вычислений MatLab.

Контрольно-измерительный материал № 13

1. Многомерная оптимизация. Метод покоординатного спуска. Метод градиентного спуска.
2. Среда приборно-технологического проектирования Sentaurus TCAD.

Контрольно-измерительный материал № 14

1. Задачи с ограничениями. Нелинейная параметрическая оптимизация.
2. Программный пакет для расчетов атомной и электронной структуры и свойств наночастиц Gaussian.

Описание технологии проведения промежуточной аттестации

Промежуточная аттестация по дисциплине – экзамен. В приложение к диплому вносится оценка *отлично/хорошо/удовлетворительно*.

Оценка уровня освоения дисциплины «Методы математического моделирования» осуществляется по следующим показателям:

- качество и своевременность выполнения лабораторных работ;
- полнота ответов на вопросы контрольно-измерительного материала;
- полнота ответов на дополнительные вопросы.

Критерии оценки освоения дисциплины «Методы математического моделирования»:

– оценка *отлично* выставляется при полном соответствии работы студента всем вышеуказанным показателям. Соответствует высокому (углубленному) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы полностью, проявляются и используются систематически, в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей повышенный (продвинутый) уровень;

– оценка *хорошо* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует одному из перечисленных показателей или в случае предоставления курсовых работ и отчетов по лабораторным работам позже установленного срока. Соответствует повышенному (продвинутому) уровню сформированности компетенций: компетенции в целом сформированы, но проявляются и используются фрагментарно, не в полном объеме. Данный уровень превосходит, по крайней мере, по одному из перечисленных выше показателей пороговый (базовый) уровень;

– оценка *удовлетворительно* выставляется в случае, если работа студента при освоении дисциплины не соответствует любым двум из перечисленных показателей. Соответствует пороговому (базовому) уровню сформированности компетенций: компетенции сформированы в общих чертах, проявляются и используются ситуативно, частично. Данный уровень обязателен для всех осваивающих основную образовательную программу;

– оценка *неудовлетворительно* выставляется в случае несоответствия работы студента всем показателям, его неорганизованности, безответственности и низкого качества работы при выполнении лабораторных работ, предусмотренных программой дисциплины.

Факт невыполнения требований, предъявляемых к студенту при освоении дисциплины «Методы математического моделирования» и отраженных в вышеперечисленных критериях, фиксируется в ведомости оценкой *неудовлетворительно*.

Если студент не осваивает дисциплину в установленном программой объеме и в сроки, определенные графиком учебного процесса, он не допускается к промежуточной аттестации по данному виду учебной работы.

20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ:

ОПК-2: Способен применять современные методы исследования, представлять и аргументировано защищать результаты выполненной работы

Индикатор: ОПК-2.1

Индикатор: ОПК-2.2

Индикатор: ОПК-2.3

ОПК-3: Способен приобретать и использовать новую информацию в своей предметной области, предлагать новые идеи и подходы к решению инженерных задач

Индикатор: ОПК-3.1

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

1) Закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

1. Сколько различных интерполяционных функций можно построить по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) n
 - б) $n+1$
 - в) 1
 - г) **бесконечно много**
2. Сколько различных интерполяционных многочленов степени n можно построить по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) n
 - б) $n+1$
 - в) **1**
 - г) бесконечно много
3. Чему в общем случае равна степень интерполяционного многочлена Лагранжа, построенного по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) **n**
 - б) $n+1$
 - в) 1
4. Чему в общем случае равна степень интерполяционного многочлена Ньютона для интерполирования вперед, построенного по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) 1
 - б) n
 - в) $n+1$
5. Чему в общем случае равна степень интерполяционного многочлена Ньютона для интерполирования назад, построенного по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) **n**
 - б) $n+1$
 - в) 1
6. Сколько непрерывных производных имеет сплайн порядка k , построенный по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) n
 - б) $n-1$
 - в) k
 - г) **$k-1$**
7. Чему равен дефект сплайна порядка k , построенного по $n+1$ узлу интерполирования?
 - а) k
 - б) **$k-1$**
 - в) n
 - г) $n-1$
8. Что такое эмпирическая формула?
 - а) **Приближенная функциональная зависимость, построенная на основе экспериментальных данных.**
 - б) Функциональная зависимость, значения которой совпадают с экспериментальными данными.
9. Сколько узлов содержит квадратурная формула трапеций?
 - а) 1
 - б) **2**
 - в) 3

- г) 4
10. Сколько узлов содержит квадратурная формула Симпсона?
 а) 1
 б) 2
в) 3
 г) 4
11. Частным случаем какой квадратурной формулы является квадратурная формула трапеций?
а) Квадратурная формула Ньютона-Котеса замкнутого типа
 б) Квадратурная формула Ньютона-Котеса открытого типа
 в) Квадратурная формула Гаусса
12. Частным случаем какой квадратурной формулы является квадратурная формула Симпсона?
 а) Квадратурная формула Гаусса
б) Квадратурная формула Ньютона-Котеса замкнутого типа
 в) Квадратурная формула Ньютона-Котеса открытого типа
13. Чему равна максимальная степень произвольного многочлена, интегрируемого с помощью квадратурной формулы Гаусса, содержащей n узлов, с нулевым остаточным членом?
 а) n
 б) $n+1$
 в) $2n$
г) $2n-1$
14. Укажите порядок точности решения задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка с помощью p -этапной схемы метода Рунге-Кутты (h – шаг сетки).
 а) $O(h^p)$
 б) $O(h^{p-1})$
в) $O(h^{p+1})$
15. Укажите порядок обыкновенного дифференциального уравнения, для решения которого применяется метод Нумерова.
 а) 1
б) 2
 в) 3
 г) 4

2) Открытые задания (повышенный уровень сложности):

1. Построить интерполяционный многочлен Лагранжа для функции, заданной таблично:

x	-1	0	2
y	1	-1	7

Ответ:

Многочлен Лагранжа для трёх узлов интерполяции запишется следующим образом:

$$P(x) = y_0 \frac{(x-x_1)(x-x_2)}{(x_0-x_1)(x_0-x_2)} + y_1 \frac{(x-x_0)(x-x_2)}{(x_1-x_0)(x_1-x_2)} + y_2 \frac{(x-x_0)(x-x_1)}{(x_2-x_0)(x_2-x_1)}$$

или

$$P(x) = 1 \cdot \frac{(x-0)(x-2)}{(-1-0)(-1-2)} + (-1) \cdot \frac{(x-(-1))(x-2)}{(0-(-1))(0-2)} + 7 \cdot \frac{(x-(-1))(x-0)}{(2-(-1))(2-0)}$$

Окончательно:

$$P(x) = 2x^2 - 1$$

2. Построить интерполяционный многочлен Ньютона для интерполирования вперед для функции, заданной таблично:

x	-2	1	2
y	11	5	7

Ответ:

Найдем значения разделенных разностей:

$$f(x_0; x_1) = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} = \frac{5 - 11}{1 - (-2)} = -2$$

$$f(x_1; x_2) = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = \frac{7 - 5}{2 - 1} = 2$$

$$f(x_0; x_1; x_2) = \frac{f(x_1; x_2) - f(x_0; x_1)}{x_2 - x_0} = \frac{2 - (-2)}{2 - (-2)} = 1$$

Интерполяционный многочлен Ньютона для интерполирования вперед будет иметь вид

$$P(x) = f(x_0) + (x - x_0)f(x_0; x_1) + (x - x_0)(x - x_1)f(x_0; x_1; x_2)$$

Таким образом:

$$P(x) = 11 + (x - (-2))(-2) + (x - (-2))(x - 1) \cdot 1$$

Окончательно:

$$P(x) = x^2 - x + 5$$

3. Построить интерполяционный многочлен Ньютона для интерполирования назад для функции, заданной таблично:

x	-2	0	1
y	0	-10	-6

Ответ:

Найдем значения разделенных разностей:

$$f(x_0; x_1) = \frac{f(x_1) - f(x_0)}{x_1 - x_0} = \frac{-10 - 0}{0 - (-2)} = -5$$

$$f(x_1; x_2) = \frac{f(x_2) - f(x_1)}{x_2 - x_1} = \frac{-6 - (-10)}{1 - 0} = 4$$

$$f(x_0; x_1; x_2) = \frac{f(x_1; x_2) - f(x_0; x_1)}{x_2 - x_0} = \frac{4 - (-5)}{1 - (-2)} = 3$$

Интерполяционный многочлен Ньютона для интерполирования назад будет иметь вид

$$P(x) = f(x_2) + (x - x_2)f(x_1; x_2) + (x - x_2)(x - x_1)f(x_0; x_1; x_2)$$

Таким образом:

$$P(x) = -6 + (x - 1) \cdot 4 + (x - 1)(x - 0) \cdot 3$$

Окончательно:

$$P(x) = 3x^2 + x - 10$$

4. Построить интерполяционный многочлен по схеме Эйткена, заданной таблично:

x	-1	1	2
y	4	-2	-2

Ответ:

Найдем сначала значения выражения:

$$p_{01}(x) = \frac{\begin{vmatrix} y_0 & x_0 - x \\ y_1 & x_1 - x \end{vmatrix}}{x_1 - x_0} = \frac{\begin{vmatrix} 4 & -1 - x \\ -2 & 1 - x \end{vmatrix}}{1 - (-1)} = -3x + 1,$$

затем

$$p_{12}(x) = \frac{\begin{vmatrix} y_1 & x_1 - x \\ y_2 & x_2 - x \end{vmatrix}}{x_2 - x_1} = \frac{\begin{vmatrix} -2 & 1 - x \\ -2 & 2 - x \end{vmatrix}}{2 - 1} = -2$$

Окончательно

$$P(x) = P_{012}(x) = \frac{\begin{vmatrix} P_{01}(x) & x_0 - x \\ P_{12}(x) & x_2 - x \end{vmatrix}}{x_2 - x_0} = \frac{\begin{vmatrix} -3x + 1 & -1 - x \\ -2 & 2 - x \end{vmatrix}}{2 - (-1)} = x^2 - 3x$$

5. Приведите пример функции, интеграл от которой, вычисленный методом Ньютона-Котеса с числом узлов $n = 4$, даст абсолютно точный результат.

Ответ:

В методе Ньютона-Котеса подынтегральная функция заменяется интерполяционным многочленом, построенным по n равноотстоящим узлам. В случае, если подынтегральная функция сама является многочленом степени не выше $n - 1$, интерполяционный многочлен, построенный для нее, будет совпадать с ней, и следовательно, формула Ньютона-Котеса даст абсолютно точный результат. Таким образом, для $n = 4$ это будет иметь место, например, для функции

$$f(x) = 2x^3 + 4x^2 - 10x + 1$$

6. Приведите пример функции, интеграл от которой, вычисленный методом Гаусса с числом узлов $n = 4$, даст абсолютно точный результат.

Ответ:

В методе Гаусса подынтегральная функция заменяется интерполяционным многочленом, построенным по n узлам, выбранным специальным образом. Узлы выбираются таким образом, чтобы в случае, если подынтегральная функция сама является многочленом степени не выше $2n - 1$, формула Гаусса даст абсолютно точный результат. Таким образом, для $n = 4$ это будет иметь место, например, для функции

$$f(x) = x^7 + 3x^6 - 10x^5 + x^4 - 5x + 9$$

7. Найдите значения узлов интерполяции в формуле Ньютона-Котеса замкнутого типа, если их количество равно 5, а интегрирование ведется от $c = 0$ до $d = 1,2$.

Ответ:

В методе Ньютона-Котеса подынтегральная функция заменяется интерполяционным многочленом, построенным по n равноотстоящим узлам. В формулах замкнутого типа концы промежутка интегрирования c и d входят в число узлов. Поэтому расстояние между соседними узлами равно:

$$h = \frac{d - c}{n - 1}$$

8. Найдите значения узлов интерполяции в формуле Ньютона-Котеса открытого типа, если их количество равно 5, а интегрирование ведется от $c = 0$ до $d = 1,2$.

Ответ:

В методе Ньютона-Котеса подынтегральная функция заменяется интерполяционным многочленом, построенным по n равноотстоящим узлам. В формулах открытого типа концы промежутка интегрирования c и d не входят в число узлов. Поэтому расстояние между соседними узлами равно:

$$h = \frac{d - c}{n + 1}$$

Таким образом, в данном случае узлы будут иметь следующие значения:

$$x_1 = 0,2; \quad x_2 = 0,4; \quad x_3 = 0,6; \quad x_4 = 0,8; \quad x_5 = 1,0.$$

9. Сформулируйте, в чем заключается сходство и отличие методов Рунге-Кутты и Адамса решения задачи Коши.

Ответ:

Оба метода применяются для численного решения дифференциального уравнения

$$y' = f(x, y), \quad x \in [a, b],$$

удовлетворяющего начальному условию $y(a) = y_0$.

Оба метода являются дискретными, так как значения искомой функции вычисляются на конечном множестве точек $x_n \in [a, b]$, т.е. решение получается в виде таблицы $y_n = y(x_n)$.

Недостатком метода Рунге-Кутты является то, что для получения решения уравнения в одной точке приходится вычислять правую часть уравнения в нескольких точках. Если правая часть сложна, это приводит к большой вычислительной работе.

Метод Адамса лишен этого недостатка: в нем на каждом шаге (кроме первого) требуется только однократное вычисление правой части. Однако, на первом шаге необходимо знать значения y в нескольких начальных точках. Обычно эти значения находят другим методом, например, методом Рунге-Кутты, для которого необходимо лишь значение y_0 , известное по условию. Таким образом, метод Адамса не является самоначинающимся

10. Составить алгоритм численного решения дифференциального уравнения третьего порядка $y''' - 4xy' + e^{-x} = 0$ на отрезке от 0 до 2 с начальными условиями $y(0) = 1; y'(0) = 1; y''(0) = 1$ методом Эйлера.

Ответ:

Сведем данное уравнение третьего порядка к системе трех уравнений первого порядка с тремя неизвестными функциями y, z и w

$$\begin{cases} y' = z \\ z' = w \\ w' = 4xz - e^{-x} \end{cases}$$

и начальными условиями $y(0) = 1; z(0) = 1; w(0) = 1$.

Будем искать решение системы в равномерной сетке точек x_0, x_1, \dots, x_N с шагом h с помощью рекуррентных формул метода Эйлера:

$$\begin{cases} y_{n+1} = y_n + hz_n \\ z_{n+1} = z_n + hw_n \\ w_{n+1} = w_n + h(4x_n z_n - e^{-x_n}) \end{cases}$$

Искомым решением исходного уравнения будет таблица значений $y_n = y(x_n)$ на заданном отрезке с выбранным шагом.

11. Привести систему линейных алгебраических уравнений

$$100x_1 + 6x_2 - 2x_3 = 200$$

$$6x_1 + 200x_2 - 10x_3 = 600$$

$$x_1 + 2x_2 + 100x_3 = 600$$

к виду, удобному для итерационного процесса, и проверить условие сходимости решения по методу простой итерации.

Ответ:

Сведем исходную систему уравнений к виду

$$\begin{cases} x_1 = -0,06x_2 + 0,02x_3 + 2 \\ x_2 = -0,03x_1 + 0,05x_3 + 3 \\ x_3 = -0,01x_1 - 0,02x_2 + 6 \end{cases}$$

т.е. к виду, удобному для итерационного процесса:

$$\mathbf{x} = \mathbf{D}\mathbf{x} + \mathbf{c},$$

где $\mathbf{x} = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$ – вектор неизвестных, \mathbf{D} – матрица, которая в данном случае будет

иметь вид $\mathbf{D} = \begin{pmatrix} 0 & -0,06 & 0,02 \\ -0,03 & 0 & 0,05 \\ -0,01 & -0,02 & 0 \end{pmatrix}$, \mathbf{c} – вектор, имеющий вид $\mathbf{c} = \begin{pmatrix} 2 \\ 3 \\ 6 \end{pmatrix}$.

Итерационный процесс

$$\mathbf{x}^k = \mathbf{D}\mathbf{x}^{k-1} + \mathbf{c}$$

при любом начальном векторе \mathbf{x}^0 сходится к решению системы, если выполняется

условие $\|\mathbf{D}\| < 1$, где $\|\mathbf{D}\| = \max_{1 \leq i \leq n} \sum_{j=1}^n |d_{ij}|$ – одна из форм нормы матрицы \mathbf{D} . В

данном случае она равна 0,08, следовательно, процесс будет сходиться.

Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный)

2) открытые задания (повышенный уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));
- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода вы-

полнения задания, или в случае, если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;

- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЙ

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Направление: 11.04.04 Электроника и наноэлектроника
шифр и наименование направления/специальности

Дисциплина: Б1.О.10 Методы математическое моделирование
код и наименование дисциплины

Профиль подготовки: Материалы и устройства твердотельной электроники
в соответствии с Учебным планом

Форма обучения: очная

Учебный год: 2024-2025

Ответственный исполнитель -

Зав.кафедрой ФТТиНС _____ (П.В. Середин) 31.08.2023
должность, подразделение *подпись* *расшифровка подписи*

Исполнители:

Профессор каф. ФТТиНС _____ (С.И. Курганский) 31.08.2023
должность, подразделение *подпись* *расшифровка подписи*

_____ *подпись* _____ *расшифровка подписи* _____. 20__

СОГЛАСОВАНО:

Куратор ООП ВО
направления 03.03.02 _____ (Г.В. Быкадорова) 31.08.2023
подпись *расшифровка подписи*

Зав.отделом
обслуживания ЗНБ _____ (Н.В. Белодедова) 31.08.2023
подпись *расшифровка подписи*

Рекомендована НМС физического факультета, протокол № 6 от 26.06.2023
(наименование факультета, структурного подразделения)