

Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Галунин Сергей Александрович
Должность: проректор по учебной работе
Дата подписания: 28.06.2023 14:55:53
Уникальный программный ключ:
08ef34338325bdb0ac5a47baa5472ce36cc3fc3b

Приложение к ОПОП
«Математические методы в ин-
формационных технологиях»



СПбГЭТУ «ЛЭТИ»
ПЕРВЫЙ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЙ

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
**«Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет
«ЛЭТИ» им. В.И.Ульянова (Ленина)»**
(СПбГЭТУ «ЛЭТИ»)

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

ДИСЦИПЛИНЫ

«ПРЯМЫЕ ЗАДАЧИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»

для подготовки бакалавров

по направлению

01.03.02 «Прикладная математика и информатика»

по профилю

«Математические методы в информационных технологиях»

Санкт-Петербург

2023

ЛИСТ СОГЛАСОВАНИЯ

Разработчики:

доцент, к.ф.-м.н. Павлов Д.А.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры АМ
12.01.2023, протокол № 6

Рабочая программа рассмотрена и одобрена учебно-методической комиссией
ФКТИ, 16.02.2023, протокол № 7

Согласовано в ИС ИОТ

Начальник ОМОЛА Загороднюк О.В.

1 СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

| | |
|---|------|
| Обеспечивающий факультет | ФКТИ |
| Обеспечивающая кафедра | АМ |
| Общая трудоемкость (ЗЕТ) | 4 |
| Курс | 2 |
| Семестр | 4 |
| Виды занятий | |
| Лекции (академ. часов) | 34 |
| Практические занятия (академ. часов) | 34 |
| Иная контактная работа (академ. часов) | 1 |
| Все контактные часы (академ. часов) | 69 |
| Самостоятельная работа, включая часы на контроль (академ. часов) | 75 |
| Всего (академ. часов) | 144 |
| Вид промежуточной аттестации | |
| Дифф. зачет (курс) | 2 |

2 АННОТАЦИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

«ПРЯМЫЕ ЗАДАЧИ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ»

В курсе рассматриваются особенности моделирования динамических систем на ЭВМ. Изучаются теоретические основы численных методов, методы анализа погрешностей вычислений. Изучаются явные и неявные, одношаговые и многошаговые методы численного интегрирования. Изучаются методы численного и автоматического дифференцирования. Изучаются методы решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений в применении к решению обратных задач моделирования с учётом случайных и систематических погрешностей наблюдаемых величин, а также выбросов. Решаются практические задачи моделирования динамических систем на компьютере. Лабораторные работы содержат элементы научного исследования.

SUBJECT SUMMARY

«COMPUTATIONAL MATHEMATICS»

The course deals with the modeling of dynamical systems on a computer. We study the theory of numerical methods and error analysis. We study explicit and implicit, single-step and multi-step methods of numerical integration. We study the methods of numerical and automatic differentiation. We study the numerical linear algebra methods for solving systems of linear and nonlinear equations and apply them to solve inverse modeling problems. We study how to take into account random and systematic errors and outliers in experimental data. We solve practical tasks of dynamical systems modeling on a computer. Laboratory classes contain elements of scientific research.

3 ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

3.1 Цели и задачи дисциплины

1. Целями изучения дисциплины является приобретение теоретических знаний и формирование практических умений и навыков применения математического подхода к анализу естественнонаучных задач.

2. В рамках заявленной цели решаются задачи, связанные с изучением теоретических основ вычислений, применением методов анализа погрешностей вычислений, а именно:

-изучение основных алгоритмов типовых численных методов решения математических задач, таких как восстановление функциональных зависимостей на основе экспериментальных данных, решение линейных и нелинейных уравнений и систем, решение обыкновенных дифференциальных уравнений и систем;
-формирование мышления студентов при решении практических задач математическими методами, умения ставить задачи и анализировать полученные результаты;

3. В ходе обучения учащиеся получают знания:

-об особенностях математических вычислений на ЭВМ, понятия корректности и обусловленности вычислительных задач, методов и алгоритмов;
-о методах решения систем линейных и нелинейных алгебраических уравнений, методах решения задач линейной алгебры, численных методов дифференцирования;
-о возможности вычислительных средств при решении задач вычислительной математики;
-анализа влияния погрешностей исходных данных на результат решения вычислительных задач.

4. В ходе обучения развиваются умения:

-применять на практике численные методы решения математических задач;
-выбирать для реализации численные методы, удовлетворяющие требованиям по быстродействию и точности решения.

5. Навыки применения численных методов решения основных задач вычислительной математики.

3.2 Место дисциплины в структуре ОПОП

Дисциплина изучается на основе ранее освоенных дисциплин учебного плана:

1. «Математический анализ»
2. «Информационные технологии»
3. «Дискретная математика и теоретическая информатика»

и обеспечивает изучение последующих дисциплин:

1. «Дифференциальные уравнения»
2. «Математическая логика и теория алгоритмов»

3.3 Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

В результате освоения образовательной программы обучающийся должен достичь следующие результаты обучения по дисциплине:

| Код компетенции/ индикатора компетенции | Наименование компетенции/индикатора компетенции |
|--|---|
| ПК-0 | Способен разрабатывать информационные модели и применять их для решения задач профессиональной деятельности |
| <i>ПК-0.1</i> | <i>Знает современные виды информационных моделей, применяемых при решении задач профессиональной деятельности</i> |
| <i>ПК-0.2</i> | <i>Создает и модифицирует информационные модели для решения задач профессиональной деятельности</i> |
| <i>ПК-0.3</i> | <i>Применяет информационные модели для решения задач профессиональной деятельности</i> |

4 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

4.1 Содержание разделов дисциплины

4.1.1 Наименование тем и часы на все виды нагрузки

| № п/п | Наименование темы дисциплины | Лек, ач | Пр, ач | ИКР, ач | СР, ач |
|-------|--|---------|--------|---------|--------|
| 1 | Введение, общие сведения о динамических системах | 2 | 0 | | |
| 2 | Численные методы интегрирования систем ОДУ | 18 | 20 | | 25 |
| 3 | Особенности машинной арифметики | 7 | 10 | | 8 |
| 4 | Численные методы решения нелинейных уравнений | 6 | 4 | | 42 |
| 5 | Заключение | 1 | | 1 | |
| | Итого, ач | 34 | 34 | 1 | 75 |
| | Из них ач на контроль | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | Общая трудоемкость освоения, ач/зе | 144/4 | | | |

4.1.2 Содержание

| № п/п | Наименование темы дисциплины | Содержание |
|-------|--|--|
| 1 | Введение, общие сведения о динамических системах | Классификация моделей систем. Понижение порядка системы ОДУ. Прямая и обратная задачи моделирования. Уравнения экспоненциального роста и распада. Уравнение гармонического осциллятора. Гравитационная задача N тел. Общая информация о дифференциальных уравнениях. Задача Коши. |
| 2 | Численные методы интегрирования систем ОДУ | Таблицы Бутчера. Методы Рунге-Кутты высоких порядков. Локальная ошибка одношагового метода. Методы Ралстона. Вложенные методы Рунге-Кутты. Подбор шага во вложенных методах Рунге-Кутты. Устойчивость методов численного интегрирования. Неявные методы Эйлера и средней точки. Обобщения методов Рунге-Кутты с одной переменной на произвольное количество переменных и с автономных систем на неавтономные. Методы Адамса-Башфорта и Адамса-Мултона. Оценка ошибки методов Адамса. |
| 3 | Особенности машинной арифметики | Представление целых чисел в процессоре: знаковых и беззнаковых. Представление чисел с плавающей точкой, типы чисел с плавающей точкой. Специальные числа: NaN, нули и бесконечности, денормализованные числа. Ошибки округления чисел с плавающей точкой, контроль ошибок. Прочие виды чисел. |
| 4 | Численные методы решения нелинейных уравнений | Метод бисекций. Метод простой итерации. Метод Ньютона. |

| № п/п | Наименование темы дисциплины | Содержание |
|-------|------------------------------|---|
| 5 | Заключение | Обзор приложений в профессиональной деятельности. |

4.2 Перечень лабораторных работ

Лабораторные работы не предусмотрены.

4.3 Перечень практических занятий

| Наименование практических занятий | Количество ауд. часов |
|--|-----------------------|
| 1. Разработка программы численного интегрирования | 16 |
| 2. Особенности машинной арифметики, точность вычислений на ЭВМ | 12 |
| 3. Решение системы линейных уравнений | 6 |
| Итого | 34 |

4.4 Курсовое проектирование

Курсовая работа (проект) не предусмотрены.

4.5 Реферат

Реферат не предусмотрен.

4.6 Индивидуальное домашнее задание

Индивидуальное домашнее задание не предусмотрено.

4.7 Доклад

Доклад не предусмотрен.

4.8 Кейс

Кейс не предусмотрен.

4.9 Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы

Изучение дисциплины сопровождается самостоятельной работой студентов с рекомендованными преподавателем литературными источниками и информационными ресурсами сети Интернет.

Планирование времени для изучения дисциплины осуществляется на весь период обучения, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Обучающимся, в рамках внеаудиторной самостоятельной работы, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников материал, законспектированный на лекциях. При этом на основе изучения рекомендованной литературы целесообразно составить конспект основных положений, терминов и определений, необходимых для освоения разделов учебной дисциплины.

Особое место уделяется консультированию, как одной из форм обучения и контроля самостоятельной работы. Консультирование предполагает особым образом организованное взаимодействие между преподавателем и студентами, при этом предполагается, что консультант либо знает готовое решение, которое он может предписать консультируемому, либо он владеет способами деятельности, которые указывают путь решения проблемы.

Самостоятельное изучение студентами теоретических основ дисциплины обеспечено необходимыми учебно-методическими материалами (учебники, учебные пособия, конспект лекций и т.п.), выполненными в печатном или электронном виде.

Изучение студентами дисциплины сопровождается проведением регулярных консультаций преподавателей, обеспечивающих практические занятия по дисциплине, за счет бюджета времени, отводимого на консультации (внеаудиторные занятия, относящиеся к разделу «Самостоятельные часы для изучения

дисциплины»).

| Текущая СРС | Примерная трудоемкость, ач |
|---|---------------------------------------|
| Работа с лекционным материалом, с учебной литературой | 12 |
| Опережающая самостоятельная работа (изучение нового материала до его изложения на занятиях) | 0 |
| Самостоятельное изучение разделов дисциплины | 8 |
| Выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ | 0 |
| Подготовка к лабораторным работам, к практическим и семинарским занятиям | 30 |
| Подготовка к контрольным работам, коллоквиумам | 10 |
| Выполнение расчетно-графических работ | 0 |
| Выполнение курсового проекта или курсовой работы | 0 |
| Поиск, изучение и презентация информации по заданной проблеме, анализ научных публикаций по заданной теме | 0 |
| Работа над междисциплинарным проектом | 0 |
| Анализ данных по заданной теме, выполнение расчетов, составление схем и моделей, на основе собранных данных | 0 |
| Подготовка к зачету, дифференцированному зачету, экзамену | 15 |
| ИТОГО СРС | 75 |

5 Учебно-методическое обеспечение дисциплины

5.1 Перечень основной и дополнительной литературы, необходимой для освоения дисциплины

| № п/п | Название, библиографическое описание | К-во экз. в библ. |
|---------------------------|---|-------------------|
| Основная литература | | |
| 1 | Зализняк, Виктор Евгеньевич. Численные методы. Основы научных вычислений [Электронный ресурс] : Учебник и практикум для вузов / Зализняк В. Е., 2020. -356 с | неогр. |
| 2 | Пирумов, Ульян Гайкович. Численные методы [Электронный ресурс] : Учебник и практикум для вузов / под ред. Пирумова У. Г., 2021. -421 с | неогр. |
| 3 | Никитин, Алексей Антонович. Математический анализ. Углубленный курс [Электронный ресурс] : Учебник и практикум для вузов / Никитин А. А., Фомичев В. В., 2021. -460 с | неогр. |
| 4 | Немирко, Анатолий Павлович. Математический анализ биомедицинских сигналов и данных [Текст] / А. П. Немирко, Л. А. Манило, А. Н. Калининченко, 2017. -246 с. | 36 |
| Дополнительная литература | | |
| 1 | Численные методы решения дифференциальных уравнений. Одношаговые методы [Текст] : метод. указания по дисциплине "Численные методы" / Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет им. В.И. Ульянова (Ленина) "ЛЭТИ", 1996. -23 с. | 9 |
| 2 | Поршнева С. В. Вычислительная математика. Курс лекций [Электронный ресурс] / С. В. Поршнева, 2014. -320 с. | неогр. |

5.2 Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», используемых при освоении дисциплины

| № п/п | Электронный адрес |
|-------|---|
| 1 | Ordinary Differential Equations https://sites.math.washington.edu/~burke/crs/555/555_notes/exist.pdf |
| 2 | Дифференцирование функций многих переменных http://math.nsc.ru/~matanalyse/potapov/lekci17_3.pdf |
| 3 | List of Runge–Kutta methods https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_Runge%E2%80%9993Kutta_methods |
| 4 | IEEE 754 https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_754 |
| 5 | IEEE-754 Floating Point Converter https://www.h-schmidt.net/FloatConverter/IEEE754.html |
| 6 | Taylor Series, Rate of Convergence, Condition Number, Stability https://courses.engr.illinois.edu/cs357/su2013/lectures/lecture02.pdf |

| № п/п | Электронный адрес |
|-------|---|
| 7 | Numerical Solution of Kepler's equation https://www.csun.edu/~hcmth017/master/node16.html |
| 8 | Notes: Rate of Convergence http://people.whitman.edu/~hundlejr/courses/M467F06/ConvAndError.pdf |
| 9 | How does C compute sin() and other math functions? https://stackoverflow.com/a/2285277 |
| 10 | Linear Systems of Algebraic Equations http://www.cfm.brown.edu/people/dobrush/am34/sage/LU.html |
| 11 | Iterative Linear Solvers https://graphics.stanford.edu/courses/cs205a-13-fall/assets/notes/chapter10.pdf |
| 12 | Ill-conditioned Matrices https://emtiyaz.github.io/pcml15/illconditioned.pdf |
| 13 | Численное решение систем линейных алгебраических уравнений https://intuit.ru/studies/courses/1012/168/lecture/4592 |
| 14 | Numerical Differentiation http://www2.math.umd.edu/~dlevy/classes/amsc466/lecture-notes/differentiation-chap.pdf |

5.3 Адрес сайта курса

Адрес сайта курса: <https://vec.etu.ru/moodle/course/view.php?id=13137>

6 Критерии оценивания и оценочные материалы

6.1 Критерии оценивания

Для дисциплины «Прямые задачи численного моделирования» формой промежуточной аттестации является дифф. зачет. Оценивание качества освоения дисциплины производится с использованием рейтинговой системы.

Дифференцированный зачет

| Оценка | Количество баллов | Описание |
|---------------------|-------------------|---|
| Неудовлетворительно | 0 – 51 | теоретическое содержание курса не освоено, необходимые практически навыки и умения не сформированы, выполненные учебные задания содержат грубые ошибки, дополнительная самостоятельная работа над курсом не приведет к существенному повышению качества выполнения учебных заданий |
| Удовлетворительно | 52 – 67 | теоретическое содержание курса освоено частично, но пробелы не носят существенного характера, необходимые практические навыки и умения работы с освоенным материалом в основном сформированы, большинство предусмотренных программой обучения учебных заданий выполнено, некоторые из выполненных заданий содержат ошибки |
| Хорошо | 68 – 84 | теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, некоторые практические навыки и умения сформированы недостаточно, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество выполнения ни одного из них не оценено минимальным числом баллов, некоторые виды заданий выполнены с ошибками |
| Отлично | 85 – 100 | теоретическое содержание курса освоено полностью, без пробелов, необходимые практические навыки и умения сформированы, все предусмотренные программой обучения учебные задания выполнены, качество их выполнения оценено количеством баллов, близким к максимальному |

Особенности допуска

Допуск до дифференцированного зачета осуществляется по итогам текущего контроля:

- 1) Выполнение практических работ
- 2) Написание контрольных работ

6.2 Оценочные материалы для проведения текущего контроля и промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине

Вопросы к дифф.зачету

| № п/п | Описание |
|-------|--|
| 1 | Классификация моделей систем, место непрерывных динамических систем в этой классификации. Понижение порядка системы ОДУ: для чего оно нужно, пример. |
| 2 | Задача Коши. Лемма Асколи, теоремы Коши-Пеано и Пикара-Линделёфа (все — без доказательства). |
| 3 | Примеры динамических систем (радиоактивный распад, идеальный маятник, гравитационная задача N тел). Примеры постановки прямой и обратной задачи для каждой из этих систем. |
| 4 | Общий вид и классификация методов семейства Рунге-Кутты. Таблицы Бутчера. Методы Эйлера, Хойна и средней точки. |
| 5 | Обоснование одного из методов семейства Рунге-Кутты, обычного или вложенного, 3-го или 4-го порядка (коэффициенты выдаются преподавателем). |
| 6 | Асимптотическая оценка локальной ошибки в методах семейства Рунге-Кутты с помощью констант M и L . Метод Ралстона 2-го порядка с доказательством. |
| 7 | Общий вид вложенных методов Рунге-Кутты. Метод Хойна-Эйлера. Подбор шага в одношаговых методах. |
| 8 | Устойчивость методов численного интегрирования на примере уравнения радиоактивного распада. Неявные методы Эйлера, средней точки и трапеций. |
| 9 | Обобщения методов семейства Рунге-Кутты на произвольное количество переменных и с автономных систем на неавтономные. |
| 10 | Интерполяционные многочлены Лагранжа и Ньютона, их сходства и различия. Формула ошибки интерполяционного многочлена с доказательством. |
| 11 | Конечные и разделённые разности. Вывод интерполяционного многочлена Ньютона в форме прямых и обратных разделённых разностей. |
| 12 | Общий вид методов Адамса. Вывод коэффициентов метода Адамса-Башфорта с использованием производящих функций. |
| 13 | Вывод коэффициентов метода Адамса-Мултона с использованием коэффициентов метода Адамса-Башфорта. |
| 14 | Схема предиктор-корректор и оптимизация вычислений в ней. Асимптотика локальной ошибки в методах Адамса-Мултона и Адамса-Башфорта. |

| | |
|----|--|
| 15 | Представление чисел с плавающей точкой, типы чисел с плавающей точкой. Специальные числа: NaN, нули и бесконечности, денормализованные числа. |
| 16 | Ошибки представления и округления чисел с плавающей точкой. Приёмы для вычисления арифметических ошибок (компенсационное суммирование, FMA, разложение в ряд Тейлора). Расчёт относительной ошибки формулы, предложенной преподавателем. |
| 17 | Порядок сходимости численного метода. Методы половинного деления и простой итерации, их порядки сходимости с доказательством (включая случай повышенного порядка сходимости метода простой итерации). |
| 18 | Метод Ньютона, его связь с методом простой итерации. Теорема о порядке сходимости метода Ньютона (без доказательства). Примеры, в которых условия теоремы соблюдаются или нарушаются, с описанием последствий нарушения условий. |
| 19 | Символьное, численное и автоматическое дифференцирование. Преимущества и недостатки каждого вида. Реализация автоматического дифференцирования функции, предложенной преподавателем. |
| 20 | Квадратуры Ньютона-Котеса и Гаусса. |

Форма билета

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
 ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный электротехнический
 университет «ЛЭТИ» имени В.И. Ульянова (Ленина)»

БИЛЕТ № 1

Дисциплина **Прямые задачи численного моделирования** (АМ ФКТИ)

1. Квадратуры Ньютона-Котеса и Гаусса.

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой

С.Н. Поздняков

Образцы задач (заданий) для контрольных (проверочных) работ

Примеры задач на контрольной работе:

Чайник за 10 минут остыл от 100 градусов до 80 градусов. Температура воздуха в комнате 15 градусов. За сколько минут чайник остынет от 100 градусов до

20 градусов? Скорость остывания тела пропорциональна разности температуры тела и окружающей среды. Ответ округлите до целого числа.

Вычислите число $3/7$ в формате float (32 бита, приведите все биты и вывод) и вычислите ошибку представления.

Какой порядок сходимости имеет метод Ньютона вычисления обратного квадратного корня вблизи него? Докажите ответ.

Пусть задана СЛАУ $Ax = b$ и есть предобуславливатель M^{-1} . Выведите метод градиентного спуска для решения этой СЛАУ с этим предобуславливателем.

Докажите, что интерполяционный многочлен Ньютона проходит через заданные точки, для частного случая равноотстоящих точек (без общего случая).

Приведите 2 шага решения системы уравнений $x - y = 1$, $x^2 + y^2 = 13$ методом Ньютона. Начальное приближение можно выбрать любым, кроме нуля и решения системы.

Для следующей процедуры:

```
double scalarprod (double x[], double y[], double n) { double sum = 0; for (int i = 0; i < n; i++) { prod = x[i] * y[i]; sum += prod;} return sum; }
```

напишите такую же, но с автодифференцированием по времени (считайте, что dx_dt и dy_dt передаются в вашу функцию).

Рассмотрите процедуры символьного и численного дифференцирования функции \sqrt{x} . Как обеспечить численную устойчивость при вычислении численной производной? Каким методом лучше вычислять символьную производную, если в вашем распоряжении лишь четыре действия арифметики?

Докажите, имея в распоряжении только формулу Тейлора, что метод трёх восьмых имеет порядок 4 (возьмите автономное дифференциальное уравнение

одной переменной).

Какие из изученных вами численных методов годятся для нахождения корня уравнения $x^5 + x + a = 0$ и почему? Какие не годятся и почему? При ответе не предполагайте, что хорошее начальное приближение дано.

Докажите, имея в распоряжении только формулу Тейлора, что метод Ралстона порядка 2 имеет порядок 2 (возьмите неавтономное дифференциальное уравнение с одной переменной).

Рассчитайте число обусловленности функции $\text{hypot}(a, b) = \sqrt{a^2 + b^2}$. Норму можно использовать любую.

Решите дифференциальное уравнение гравитационной системы двух материальных точек с массами m_1 и m_2 , изначально находящихся в состоянии покоя на расстоянии L . На всей ли оси времени существует решение?

Постройте интерполяционные многочлены Лагранжа, Ньютона в прямой и обратной форме для точек $[(-2, 4), (-1, 5), (1, 4), (2, -1)]$. Расскажите о сильных и слабых сторонах каждого представления.

Превратите дифференциальное уравнение $x''' = f(t, x, x')$ в систему ОДУ первого порядка. Какова размерность получившейся системы?

Выведите метод Адамса-Башфорта 3го порядка, не пользуясь производящими функциями.

Выведите метод Адамса-Мултона 3го порядка, не пользуясь производящими функциями.

Докажите правильность оптимизированной формулы корректора Адамса-Мултона:

$$x_{n+1} = x_n + h \gamma_k \nabla^k f_{n+1}.$$

Какой смысл может иметь схема РЕСЕ в методе Адамса-Мултона по сравнению с РЕС? Ведь x_{n+1} уже зафиксирован после РЕС.

Пусть $f(a, b) = \sqrt{a * a - b * b}$. Приведите пример катастрофического сокращения значащих битов для этой функции, рассчитайте для этого примера относительную ошибку.

Пусть известны n обратных конечных разностей некоторой функции f в точке x_n . Допустим, появилась точка x_{n+1} и известно значение f в ней. Как вычислить $(n+1)$ обратных конечных разностей f в точке x_{n+1} ?

Получите денормализованные числа одинарной точности четырьмя способами: $a + b$, $a - b$, $a * b$, a / b , где a и b - нормальные числа.

Решите систему дифференциальных уравнений Лотки-Вольтерры при заданных четырёх параметрах системы и двух начальных условиях, в предположении малого отклонения от стационарного состояния. Найдите его период и докажите периодичность.

Вычислите порядок сходимости ряда Тейлора функции $\tan(x)$ в окрестности нуля.

У методов Рунге-Кутты не бывает локальных ошибок, только глобальные

Весь комплект контрольно-измерительных материалов для проверки сформированности компетенции (индикатора компетенции) размещен в закрытой части по адресу, указанному в п. 5.3

6.3 График текущего контроля успеваемости

| Неделя | Темы занятий | Вид контроля |
|--------|--|---------------------|
| 1 | Численные методы интегрирования систем ОДУ | |
| 2 | | |
| 3 | | |
| 4 | | |
| 5 | | |
| 6 | | Практическая работа |
| 7 | Особенности машинной арифметики | |
| 8 | | Практическая работа |
| 9 | Введение, общие сведения об ОДУ Численные методы интегрирования систем ОДУ | Контрольная работа |
| 10 | Численные методы решения нелинейных уравнений | |
| 11 | | |
| 12 | | |
| 13 | | |
| 14 | | |
| 15 | | Практическая работа |
| 16 | Особенности машинной арифметики Численные методы решения нелинейных уравнений | Контрольная работа |

6.4 Методика текущего контроля

на лекционных занятиях

Текущий контроль включает в себя контроль посещаемости (не менее **80** % занятий), по результатам которого студент получает допуск на дифф. зачет.

На практических занятиях

Текущий контроль включает в себя сдачу в срок всех практических работ и успешное написание контрольных работ. По результатам текущего контроля студент получает допуск на экзамен.

В процессе обучения по дисциплине студент обязан выполнить 3 практических работы. Под выполнением практических работ подразумевается подготовка к работе, проведение компьютерного моделирования и подготовка отчета. Выполнение практических работ студентами осуществляется индивидуально. Оформление отчета студентами осуществляется индивидуально в соответ-

ствии с принятыми в СПбГЭТУ правилами оформления студенческих работ. Сданная программа и отчёт либо утверждаются преподавателем (и тогда практическая работа считается выполненной), либо возвращаются на доработку.

Успешно написанной контрольной работой считается работа, в которой даны правильные ответы и решения на не менее чем половину задач.

Критерии оценивания контрольной работы:

зачтено - даны правильные ответы и решения на не менее, чем 50% задач;

незачтено - решено 49% и менее задач.

Самостоятельной работы студентов

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется на лекционных и практических занятиях студентов в режиме устного общения. Преподаватель проверяет, что

7 Описание информационных технологий и материально-технической базы

| Тип занятий | Тип помещения | Требования к помещению | Требования к программному обеспечению |
|------------------------|--------------------------------------|--|---|
| Лекция | Лекционная аудитория | Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, компьютер или ноутбук, экран, маркерная или меловая доска. | Свободно распространяемое ПО или ПО, разработанное в РФ, соответствующее по характеристикам Windows XP, Microsoft Office 2007 и выше. |
| Практические занятия | Аудитория | Количество посадочных мест – в соответствии с контингентом, рабочее место преподавателя, проектор, компьютер или ноутбук, экран, маркерная или меловая доска. | Свободно распространяемое ПО или ПО, разработанное в РФ, соответствующее по характеристикам Windows XP, Microsoft Office 2007 и выше. |
| Самостоятельная работа | Помещение для самостоятельной работы | Оснащено компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета. | Свободно распространяемое ПО или ПО, разработанное в РФ, соответствующее по характеристикам Windows XP, Microsoft Office 2007 и выше. |

8 Адаптация рабочей программы для лиц с ОВЗ

Адаптированная программа разрабатывается при наличии заявления со стороны обучающегося (родителей, законных представителей) и медицинских показаний (рекомендациями психолого-медико-педагогической комиссии). Для инвалидов адаптированная образовательная программа разрабатывается в соответствии с индивидуальной программой реабилитации.

ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| № п/п | Дата | Изменение | Дата и номер протокола заседания УМК | Автор | Начальник ОМОЛА |
|------------------|-------------|------------------|---|--------------|----------------------------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |