

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

УТВЕРЖДАЮ

Заведующий кафедрой
ядерной физики

Л.В. Титова / Титова Л.В./
13.06.2024г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
Б1.В.08 Численные методы и математическое моделирование

1. Код и наименование направления подготовки/специальности:

14.03.02 Ядерные физика и технологии

2. Профиль подготовки/специализация:

Физика атомного ядра и частиц

3. Квалификация выпускника: бакалавр

4. Форма обучения: очная

5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:

кафедра ядерной физики

6. Составители программы:

к.ф.м.н., доц. Долгополов Михаил Анатольевич

7. Рекомендована:

Научно – методическим советом физического факультета, протокол №6 от 13.06.2024

8. Учебный год: 2027/2028

Семестр(ы): 7

9. Цели и задачи учебной дисциплины

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- ознакомление студентов с основными методами математического моделирования физико-химических процессов.

Задачи учебной дисциплины:

- дать знания о базовой структуре компьютера и ее возможности; понятие алгоритма, основные этапы разработки программ; средства структурирования данных и управления в программах; методологию проектирования программных компонент путем пошаговой детализации; языковые средства реализации абстракций данных и действий по их обработке;

- научить выбирать алгоритм для решения задачи; определять адекватные конкретной задаче и выбранному алгоритму структуры данных программы; использовать методы исходящего проектирования для разработки программных компонент; определять пользовательский интерфейс разрабатываемых программ; реализовывать программные компоненты на языке программирования высокого уровня.

- овладеть математическим аппаратом, необходимым для профессиональной деятельности.

10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Учебная дисциплина относится к части цикла Б1.В.ОД (Часть, формируемая участниками образовательных отношений).

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
ПК-2	Проводит математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований	ПК-2.2	Уметь использовать классические численные методы для решения задач.	Уметь: выбирать алгоритм для решения задачи; определять адекватные конкретной задаче и выбранному алгоритму структуры данных программы; Владеть математическим аппаратом, необходимым для профессиональной деятельности.

12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час —5/180.

Форма промежуточной аттестации – экзамен.

13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость		
	Всего	По семестрам	
		7 семестр	
Аудиторные занятия	54	54	
в том числе:	лекции	18	18
	практические	36	36
	лабораторные		
Самостоятельная работа	90	90	
Контроль	36	36	
Форма промежуточной аттестации	Экзамен	Экзамен	
Итого:	180	180	

13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
1. Лекции			
1.1	Общие вопросы.	Вычислительный эксперимент. Модель, алгоритм, программа. Системный анализ. Построение и анализ иерархии упрощенных моделей как метод анализа сложных систем.	-
1.2	Классификация математических моделей.	Формы математических моделей: инвариантные, алгоритмические, аналитические и графические. Детерминированные и стохастические математические модели. Иерархические уровни математических моделей: микроуровень, макроуровень, метауровень.	-
1.3	Уравнения законов.	Уравнения законов сохранения массы, энергии, количества движения. Уравнение неразрывности. Модели тепловых систем на микроуровне: уравнение теплопроводности, четыре типа граничных условий для него. Модели гидравлических систем на микроуровне. Уравнение Навье-Стокса.	-
1.4	Основные свойства случайных процессов.	Моделирование реализаций случайных процессов. Метод Монте-Карло. Примеры математических моделей, которые могут быть изучены этим методом. Рандомизированная модель прохождения пучка заряженных частиц через вещество.	-
1.5	Методы описания «чистых» квантово-механических состояний.	Уравнение Шредингера. Численные методы его решения. Граничные условия для случая финитного и инфинитного движения.	-
1.6	Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.	Задача Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений. Интегрирование уравнений второго и высших порядков. Методы Рунге-Кутта и другие методы.	-

13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (количество часов)					
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Контроль	Всего
1	Общие вопросы.	1	2		10	6	19
2	Классификация математических моделей.	1	2		10	6	19
3	Уравнения законов.	4	8		12	6	30
4	Основные свойства случайных процессов.	4	8		18	6	36
5	Методы описания «чистых» квантово-механических состояний.	4	8		20	6	38
6	Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.	4	8		20	6	38
Итого:		18	36		90	36	180

14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Изложение материала преподавателем необходимо вести в форме, доступной для понимания. Для улучшения усвоения учебного материала необходимо применять традиционные и современные технические средства обучения. Для самостоятельного изучения отведено время на все разделы курса.

Студентам на лекциях необходимо вести подробный конспект и стараться понять материал курса, не стесняться задавать преподавателю вопросы для углубленного понимания конкретных проблем курса. Для полного понимания материала следует активно использовать консультации. Для самостоятельного изучения разделов курса, рекомендованных преподавателем, необходимо пользоваться основной и дополнительной литературой, интернет-ресурсами.

15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Срочко, Владимир Андреевич. Численные методы. Курс лекций : [учебное пособие для студ. вузов, обуч. по специальности 010200 "Прикладная математика и информатика" и по направлению 510200 "Прикладная математика и информатика"] / В.А. Срочко .— СПб. [и др.] : Лань, 2010 .— 202 с. : ил. — (Учебники для вузов. Специальная литература).— Библиогр.: с. 200.
2	Булавин, Леонид Анатольевич. Компьютерное моделирование физических систем : [учебное пособие] / Л.Н. Булавин, Н.В. Выгорницкий, Н.И. Лебовка .— Долгопрудный : Интелллект, 2011 .— 349 с.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
3	Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику : учеб. 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.
4	Волков Е. А. Численные методы : учебное пособие / Е.А. Волков .— Изд. 5-е, стер. — СПб: Лань, 2008 .— 248 с
5	Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем / В.П. Тарасик. — Минск. : "ДизайнПРО". 1997.

6	Моисеев Н.Н. Математические задачи системного анализа/ Н.Н. Моисеев. – М.: Наука, 1977.
7	Компьютеры, модели, вычислительный эксперимент. – М.: Наука, 1988.
8	Нивергельт Ю. Машинный подход к решению математических задач / Ю.Нивергельт, Дж.Фаррар, Э.Рейнгольд – М.: Мир, 1977.
9	Самарский А.А.Численные методы/ А.А.Самарский, А.В. Гулин. – М.: Наука, 1989.
10	Тихонов А.Н.Уравнения математической физики/ А.Н.Тихонов, А.А. Самарский. – М.: Наука, 1982.
11	Ландау Л.Д. Теоретическая физика: в 10.Т./ Л.Д.Ландау, Е.М. Лифшиц. – М.: Наука: Физматлит, 1973.– Т.3. Квант. – 1974.

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

№ п/п	Ресурс
12	www.lib.vsu.ru – ЗНБ ВГУ
13	https://edu.vsu.ru – Электронный университет ВГУ

16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы
(учебно-методические рекомендации, пособия, задачники, методические указания по выполнению практических (контрольных), курсовых работ и др.)

№ п/п	Источник
1	Благовещенский, Владимир Валерьевич. Компьютерные лабораторные работы по физике в пакете MathCAD : [учебное пособие для студ. вузов, обуч. по направлению подготовки бакалавров "Техническая физика"] / В.В. Благовещенский. — Санкт-Петербург ; Москва ; Краснодар : Лань, 2013. — 93, [2] с. : ил., табл. + 1 электрон. опт. диск (CD) . — (Учебники для вузов. Специальная литература). — Библиогр.: с.[94] . — ISBN 978-5-8114-1528-1.
2	Моделирование радиационных эффектов в структурах металл-диэлектрик-полупроводник : пособие : 010400, 014100, 071900 / Воронежский государственный университет, Каф. ядер. физики, Физ. фак.; Сост. Ю.В. Иванков [и др.] . — Воронеж, 2004. — 35 с. : ил . — Библиогр.: с. 33 . — <URL: http://www.lib.vsu.ru/elib/texts/method/vsu/sep04035.pdf >.

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

При проведении занятий по дисциплине используются следующие образовательные технологии:

- активные и интерактивные формы проведения занятий;
- компьютерные технологии при проведении занятий;
- презентационные материалы и технологии при объяснении материала на лекционных и практических занятиях;
- специализированное оборудование при проведении лабораторных работ;
- разбор конкретных ситуаций при постановке целей и задач к разработке прикладных программ, при выборе программного обеспечения по установленным критериям, при разработке программ по предусмотренным алгоритмам и методам

Для самостоятельной работы используется ЭБС Университетская библиотека online - www.lib.vsu.ru - ЗНБ ВГУ. Программное обеспечение, применяемое при реализации дисциплины – Microsoft Windows, LibreOffice, CodeBlocks, Adobe Reader, Mozilla FireFox.

Дистанционные образовательные технологии (ДОТ) применяются с использованием образовательного портала «Электронный университет ВГУ».

18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Компьютерный класс (для проведения занятий семинарского типа, текущего контроля и промежуточной аттестации). Специализированная мебель, компьютеры Pentium-II, III (10 шт.), объединенные в локальную сеть с возможностью подключения к сети «Интернет».	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 507П
Аудитория для самостоятельной работы, компьютерный класс с доступом к сети «Интернет»: компьютеры (мониторы, системные блоки) (15 шт.)	г. Воронеж, площадь Университетская, д.1, пом.1, ауд. 313а

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.	Общие вопросы.	ПК-2	ПК-2.2	Устный опрос
2.	Классификация математических моделей.			
3.	Уравнения законов.			
4.	Основные свойства случайных процессов.			
5.	Методы описания «чистых» квантово-механических состояний.			
6.	Численные методы интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений.			
Промежуточная аттестация форма контроля - экзамен				Пункт 20.2.1 Вопросы к экзамену

20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Устный опрос

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	Повышенный уровень	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	Базовый уровень	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

Собеседование по билетам к экзамену

20.2.1. Перечень вопросов к экзамену:

1. Вычислительный эксперимент. Модель, алгоритм, программа.
2. Уравнение Навье-Стокса.
3. Системный анализ.
4. Моделирование реализаций случайных процессов.
5. Построение и анализ иерархии упрощенных моделей как метод анализа сложных систем.
6. Метод Монте-Карло. Примеры математических моделей, которые могут быть изучены этим методом.
7. Формы математических моделей: инвариантные, алгоритмические, аналитические и графические.
8. Рандомизированная модель прохождения пучка заряженных частиц через вещество.
9. Детерминированные и стохастические математические модели.
10. Уравнение Шредингера.
11. Иерархические уровни математических моделей: микроуровень, макроуровень, метауровень.
12. Численные методы его решения.
13. Уравнения законов сохранения массы, энергии, количества движения.
14. Границные условия для случая финитного и инфинитного движения.
15. Уравнение неразрывности.
16. Задача Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений.
17. Модели тепловых систем на микроуровне: уравнение теплопроводности, четыре типа граничных условий для него.
18. Интегрирование уравнений второго и высших порядков.
19. Модели гидравлических систем на микроуровне.
20. Методы Рунге-Кутта и другие методы.

Описание критериев и шкалы оценивания компетенций (результатов обучения) при промежуточной аттестации

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Полное знание учебно-программного материала на уровне количественной характеристики. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	Повышенный уровень	Отлично
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность самостоятельно ответить на дополнительные корректирующие вопросы преподавателя.	Базовый уровень	Хорошо
Знание основного программного материала на основе качественной характеристики, допускающее погрешности в ответах. Способность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Не знание основного программного материала. Неспособность скорректировать ответ под руководством преподавателя.	–	Неудовлетворительно

ПК-2

Проводит математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований

Перечень заданий для проверки сформированности компетенции:

- 1) Тестовые задания с выбором ответов
 1. Приближенным числом a называют число, незначительно отличающееся от **1) точного A**
 - 2) неточного A
 - 3) среднего A
 - 4) точного не известного
2. Погрешность, связанная с самой постановкой математической задачи
 - 1) погрешность задачи**
 - 2) погрешность метода
 - 3) остаточная погрешность
 - 4) погрешность вычислений
3. Погрешности, связанные с системой счисления
 - 1) погрешность округления**
 - 2) погрешность действий
 - 3) погрешности задач
 - 4) относительная погрешность
4. Числовой ряд называется сходящимся, если
 - 1) существует предел последовательности его частных сумм**
 - 2) можно найти сумму ряда
 - 3) существует последовательность
 - 4) частные суммы равны нулю
4. Две матрицы одного и того же типа, имеющие одинаковое число строк и столбцов, и соответствующие элементы их равны, называют

- 1) равными**
- 2) одинаковыми
- 3) разными по рангу
- 4) схожими

5. Заменив в матрице типа $m \times n$ строки соответственно столбцами получим

- 1) транспонированную матрицу**
- 2) равную матрицу
- 3) среднюю матрицу
- 4) обратную матрицу

6. Нахождение обратной матрицы для данной называется

- 1) обращение данной матрицы**
- 2) транспонированием
- 3) суммой матриц
- 4) заменой строк и столбцов

7. Если элементы квадратной матрицы, стоящие выше (ниже) главной диагонали, равны нулю, то матрицу называют

- 1) треугольной**
- 2) нулевой
- 3) диагональной
- 4) такая матрица не существует

8. Метод, представляющий собой конечные алгоритмы для вычисления корней системы

- 1) точный метод**
- 2) метод релаксации
- 3) приближенный метод
- 4) относительный метод

9. Метод позволяющий получить корни системы с заданной точностью путем сходящихся бесконечных процессов

- 1) итерационный метод**
- 2) точный метод
- 3) приближенный метод
- 4) относительный метод

10. Этот метод является наиболее распространенным приемом решения систем линейных уравнений, алгоритм последовательного исключения неизвестных

- 1) метод Гаусса**
- 2) метод Крамера
- 3) метод обратных матриц
- 4) ведущий метод

11. Как иначе называют метод бисекций?

- 1) Метод половинного деления**
- 2) Метод хорд
- 3) Метод пропорциональных частей
- 4) Метод «начального отрезка»

12. Методы решения уравнений делятся на:

- 1) Прямые и итеративные
- 2) Прямые и косвенные
- 3) Начальные и конечные
- 4) Определенные и неопределенные

13. Отделение корней можно выполнить двумя способами:

- 1) **аналитическим и графическим**
- 2) приближением и отделением
- 3) аналитическим и систематическим
- 4) систематическим и графическим

14. При контроле решения алгебраического уравнения может быть полезна:

- 1) **Теорема Виета**
- 2) Теорема Ньютона
- 3) Теорема Перрона
- 4) Теорема Штурма

15. Итерация *iteratio* в переводе с латинского:

- 1) **повторение**
- 2) замещение
- 3) возвращение
- 4) умножение

16. Метод хорд-

- 1) **Частный случай метода итераций**
- 2) Частный случай метода коллокации
- 3) Частный случай метода прогонки
- 4) Частный случай метода Гаусса

17. Как иначе называют метод Ньютона?

- 1) **Метод касательных**
- 2) Метод прогонки
- 3) Метод итераций
- 4) Метод хорд

18. Все методы вычисления интегралов делятся на:

- 1) **Точные и приближенные**
- 2) Прямые и итеративные
- 3) Прямые и косвенные
- 4) Приближенные и систематические

19. Точный метод вычисления интегралов был предложен:

- 1) **Ньютоном и Лейбницем**
- 2) Ньютоном и Гауссом
- 3) Гауссом и Стирлингом
- 4) Вольтерром

20. К приближенным методам решения систем линейных уравнений относятся:

- 1) метод Ньютона;
- 2) **метод Гаусса;**

- 3) метод Коши;
- 4) метод Вольтерра

2) Тестовые задания без выбора ответов

- 1) К какому виду необходимо привести матрицу при решении системы линейных алгебраических уравнений методом Гаусса? Ответ: Суть метода Гаусса состоит в приведении исходной расширенной матрицы системы к верхнетреугольной матрице с помощью эквивалентных преобразований (добавление к строке любой линейной комбинации других строк и перестановка строк, т.е. уравнений).
- 2) При численном решении трансцендентных уравнений следует отделять корни. В чем состоит процесс отделения корней и какими способами можно это сделать? Ответ: Отделить корни – это значит разбить всю область допустимых значений на отрезки, в каждом из которых содержится один корень. Отделение корней можно произвести двумя способами – графическим и аналитическим.
- 3) Какая задача при решении дифференциального уравнения называется краевой? Ответ: задача называется краевой, если указывается интервал интегрирования $[a, b]$ и ставятся дополнительные условия для значений функции u и её производных на концах этого интервала.
- 4) Какими недостатками обладает метод Эйлера решения дифференциальных уравнений? Ответ: Метод Эйлера обладает двумя существенными недостатками: малой точностью (метод первого порядка точности); систематическим накоплением ошибок.
- 5) Почему формула Гаусса для нахождения интеграла функции удобна для вычисления несобственных интегралов от неограниченных функций? Ответ: Формула Гаусса обладает очень важной особенностью – концы промежутка интегрирования никогда не входят в число узлов формулы Гаусса. Поэтому формулы Гаусса очень удобны для вычисления несобственных интегралов от неограниченных функций, если особые точки подынтегральной функции лежат на концах отрезка.
- 6) В чем состоит суть аддитивных алгоритмов вычисления интегралов функций? Ответ: Из формул погрешностей численного интегрирования видно, что точность получаемых результатов зависит как от характера изменения подынтегральной функции, так и от шага интегрирования. Для достижения одинаковой точности при интегрировании слабо меняющейся функции шаг можно выбрать большим, чем при интегрировании резко меняющихся, осциллирующих функций. В аддитивных алгоритмах происходит автоматический выбор шага интегрирования в зависимости от характера изменения функции.
- 7) Какими методами можно вычислять многомерные интегралы? Ответ: использование кубатурных формул, метод статистических испытаний (метод Монте-Карло)
- 8) Приведите названия методов численного интегрирования функций. Ответ: метод прямоугольников, метод трапеций, метод Симпсона, метод Ньютона-Котеса, метод Монте-Карло и др. Ответ считать верным, если приведены не менее двух методов.
- 9) Приведите названия методов численного решения дифференциальных уравнений. Ответ: метод Эйлера, метод Рунге-Кутта, метод Нумерова, метод Адамса, метод прогонки. Ответ считать верным, если приведены не менее двух методов.
- 10) Какие численные методы относятся к численным методам линейной алгебры? Ответ: К численным методам линейной алгебры относятся численные методы решения систем линейных алгебраических уравнений, обращения матриц,

вычисления определителей, находления собственных значений и собственных векторов матриц.

- 11) Какие операции над матрицей осуществляются в прямом ходе метода Гаусса решения системы линейных алгебраических уравнений? Ответ: В прямом ходе процедуры Гаусса матрица системы приводится к треугольному виду с помощью операций двух типов: 1) Деление всех элементов строки на ведущий элемент этой строки. 2) Добавление к элементам строки элементов другой строки, умноженных на константу.
- 12) Приведите названия методов численного решения систем линейных алгебраических уравнений. Ответ: метод простой итерации, метод Гаусса, метод Зейделя, метод квадратного корня. Ответ считать верным, если приведены не менее двух методов.
- 13) В чем состоит суть графического метода отделения корней при решении нелинейных уравнений? Ответ. Странят график функции $y = f(x)$, входящей в уравнение, значения действительных корней уравнения являются абсциссами точек пересечения графика функции $y = f(x)$ с осью Ox . Отрезки, в которых заключено только по одному корню, легко находятся. Графический способ отделения корней не обладает большой точностью. Он дает возможность грубо определить интервалы изоляции корня.
- 14) В чем состоит суть графического метода отделения корней при решении нелинейных уравнений? Ответ: Аналитически корни уравнения можно отделить, используя свойства функций, известные из курса математического анализа. Если функция непрерывна на отрезке $[a, b]$ и принимает на концах этого отрезка значения разных знаков, то внутри отрезка $[a, b]$ существует хотя бы один корень уравнения $f(x) = 0$. Если функция непрерывна и монотонна на отрезке $[a, b]$ и принимает на концах этого отрезка значения разных знаков, то внутри отрезка $[a, b]$ существует корень уравнения $f(x) = 0$ и притом единственный. Можно рекомендовать следующий порядок действий для отделения корней аналитическим методом. 1) Найти первую производную. 2) Составить таблицу знаков функции, полагая x равным: а) критическим значениям (корням) производной или ближайшим к ним; б) граничным значениям (исходя из области допустимых значений неизвестного). 3) Определить интервалы, на концах которых функция принимает значения противоположных знаков. Внутри этих интервалов содержится по одному и только по одному корню.
- 15) Приведите названия методов численного решения трансцендентных и нелинейных уравнений. Ответ: метод деления пополам (метод бисекций), метод простых итераций (метод последовательных приближений), метод хорд (метод секущих), метод Ньютона (метод касательных).