

Белорусский государственный университет



Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям
О.Н. Здрок

2020 г.

Регистрационный № УД- 8898 /уч.

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ В ФИЗИКЕ

Учебная программа учреждения высшего образования
по учебной дисциплине для специальности:

1-31 04 08 Компьютерная физика

2020 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 04 08-2018, учебных планов №G31-220/уч. от 13.07.2018, №G31и-231/уч. от 20.03.2018.

СОСТАВИТЕЛИ:

Г.Г. Крылов – доцент кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета, кандидат физико-математических наук, доцент;

И.А. Тимошенко – старший преподаватель кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета.

Л.Б. Елисева - старший преподаватель кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета;

И.А. Тимофеева – старший преподаватель кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета;

И.В. Шапочкина - доцент кафедры компьютерного моделирования Белорусского государственного университета.

РЕЦЕНЗЕНТЫ:

С.И. Максимов – заведующий кафедрой информационных технологий в образовании Государственного учреждения образования «Республиканский институт высшей школы», кандидат технических наук, доцент.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

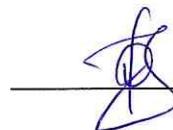
Кафедрой компьютерного моделирования физического факультета Белорусского государственного университета

(протокол № 16 от 25 мая 2020 г.);

Научно-методическим Советом БГУ

(протокол № 5 от 17.06.2020)

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент



О.Г. Романов

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Цели и задачи учебной дисциплины

Цель учебной дисциплины - углубленное изучение и усвоение студентами методов численного решения физических задач, их качественного анализа, а также приобретение навыков самостоятельной реализации численных методов в физике.

Задачи учебной дисциплины

1. изучение и усвоение численных методов решения алгебраических проблем, систем нелинейных уравнений, построения наилучших приближений функции и интерполирования, начальных и краевых задач для обыкновенных дифференциальных уравнений, уравнений математической физики;
2. формирование целостного представления о совокупности методов численного анализа, общих подходов к построению различных методов;
3. усвоение методов качественного анализа, предшествующего использованию численных методов;
4. изучение методов анализа погрешностей численных методов, устойчивости и сходимости численных алгоритмов;
5. приобретение и совершенствование навыков программной реализации численных методов.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалиста с высшим образованием.

Одной из составляющих процесса компьютерного моделирования физических процессов является знание и правильное применение численных методов для решения математической задачи, соответствующей модели. Дисциплина «Численные методы в физике» как раз формирует компетенции студентов в данной области. Обучение численным методам ведется на языках программирования C++, Python с использованием современных программных пакетов MS Visual Studio, Wolfram Mathematica, Matlab и др.).

Учебная дисциплина относится к модулю «Компьютерное моделирование физических процессов» компонента учреждения образования.

Связи с другими учебными дисциплинами: «Численные методы в физике» базируется на знаниях, приобретенных в результате освоения дисциплин «Математический анализ», «Аналитическая геометрия и линейная алгебра», «Основы векторного и тензорного анализа», «Программирование».

Требования к компетенциям.

Освоение учебной дисциплины «Численные методы в физике» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

специальные компетенции:

- СК-1. Быть способным выбрать необходимый метод компьютерного моделирования для решения физической задачи в предметной области,

уметь реализовывать на современных языках программирования численные алгоритмы решения нелинейных, дифференциальных уравнений, уравнений в частных производных и систем уравнений .

В результате изучения учебной дисциплины студент должен

знать:

- основные свойства арифметики с числами с плавающей запятой;
- основные методы численного анализа, постановку типовых задач и условия их применимости численного метода;
- основные источники неточности вычислений;

уметь:

- разрабатывать простые программы для платформ Windows и Linux и в инструментальной системе Matlab или Wolfram Mathematica или на языках программирования C++ и Python;
- применять изученные методы для решения задач численного моделирования физических процессов;
- оценить точность численного решения;
- проводить численный анализ физической модели;

владеть:

- элементарными навыками программирования на языке C++ и Python.

Структура учебной дисциплины

Дисциплина изучается в 3 и 4 семестрах. Всего на изучение учебной дисциплины «Численные методы в физике» отведено:

– для очной формы получения высшего образования – 216 часов, в том числе 114 аудиторных часов, из них: лекции – 40 часов, лабораторные работы – 68 часов, управляемая самостоятельная работа – 6 часов;

– в 3 семестре – 108 часов, в том числе 60 аудиторных часов, из них: лекции – 22 часа, лабораторные работы – 34 часа, управляемая самостоятельная работа – 4 часа;

– в 4 семестре – 108 часов, в том числе 54 аудиторных часа, из них: лекции – 18 часов, лабораторные работы – 34 часа, управляемая самостоятельная работа – 2 часа.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетных единиц.

Формы текущей аттестации – зачет в 3 семестре, экзамен в 4 семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Тема 1. Введение в численные методы.

Понятие численного моделирования. Метрические и линейные нормированные пространства. Устойчивость, корректность, сходимость.

Тема 2. Приближенный анализ.

Структура погрешности. Приближенные числа и действия над приближенными числами. Виды погрешностей в численных методах. Погрешности машинной арифметики.

Тема 3. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ).

Метод Гаусса. LU-разложение, метод прогонки. Вычисление определителей. Процедуры обращения матриц. Оценка абсолютной и относительной погрешности решения. Контроль точности и уточнение приближенного решения СЛАУ.

Тема 4. Итерационные методы решения СЛАУ.

Приведение систем к виду, удобному для итераций. Необходимое и достаточное условие сходимости. Апостериорная оценка погрешности. Методы Якоби и Зейделя. Матричная запись итерационных методов. Каноническая форма одношаговых итерационных методов. Стационарные и нестационарные методы.

Тема 5. Интерполяция.

Постановка задачи интерполирования. Интерполяция каноническим полиномом. Интерполяционный полином Лагранжа. Интерполяционный полином Ньютона. Погрешность интерполирования. Сходимость интерполяционных методов.

Тема 6. Интерполяция сплайнами.

Понятие интерполяционного сплайна. Преимущества сплайн-интерполяции. Построение кубического сплайна.

Тема 7. Численные методы вычисления определенных интегралов.

Общие понятия теории численного вычисления определенных интегралов. Классификация методов вычисления определенных интегралов. Квадратурные формулы интерполяционного типа. Общая схема методов Ньютона-Котеса. Неустойчивость. Алгебраическая точность. Формулы численного интегрирования – прямоугольников, трапеций, Симпсона с выводом и оценкой точности. Локальные погрешности и погрешности составных квадратурных формул. Методы наивысшей алгебраической точности (методы Гаусса-Кристоффеля). Свойства полиномов Лежандра. Вывод систем уравнений для определения узлов и весов квадратур Гаусса. Ортогональные многочлены. Примеры построения формул Гаусса-Кристоффеля для различных весовых функций.

Тема 8. Численное интегрирование несобственных интегралов.

Методы вычисления несобственных интегралов. Мультипликативное и аддитивное выделение особенностей. Вычисление интегралов на бесконечных отрезках и интегралов от разрывных функций.

Тема 9. Статистическое моделирование.

Общая постановка задачи статистического моделирования. Моделирование дискретных и непрерывных случайных величин. Построение гистограмм различных распределений. Понятие случайного процесса, алгоритмы моделирования реализаций случайного процесса.

Тема 10. Кратные интегралы.

Методы вычисления кратных интегралов. Преимущества и недостатки детерминированных и статистических методов

Тема 11. Численные методы решения нелинейных уравнений.

Основные этапы решения нелинейных алгебраических уравнений. Локализация корней. Графический метод отделения корней. Пошаговый и метод дихотомии (бисекции) отделения корней. Метод Ньютона (касательных). Методом простых итераций.

Тема 12. Численные методы решения систем нелинейных уравнений.

Решение систем нелинейных уравнений методом Ньютона. Нелинейные методы Якоби и Зейделя для систем нелинейных уравнений. Гибридные методы.

Тема 13. Задач минимизации.

Основные этапы решения задачи минимизации. Методы решения задач одномерной минимизации: бисекции, золотого сечения и Нелдера-Мида. Методы решения задач многомерной минимизации: метод Ньютона, метод наискорейшего спуска, метод сопряженных градиентов. Анализ скорости сходимости методов.

Тема 14. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).

Постановка задачи для интегрирования ОДУ. Типы задач для ОДУ. Основные понятия и определения. Задача Коши (задача с начальными условиями). Условие Липшица. Единственность решения.

Одношаговые методы решения ОДУ. Определение одношаговых методов. Явные и неявные схемы. Метод Эйлера (простой и усовершенствованный). Определение порядка метода. Общая схема методов Рунге-Кутты. Практические способы оценки погрешности.

Тема 15. Специальные методы интегрирования ОДУ.

Многошаговые методы решения ОДУ. Общая схема многошаговых экстраполяционных методов Адамса. Вывод схемы трехэтапного метода Адамса. Интерполяционные методы Адамса (схема прогноз-коррекция). Неявные методы Гира. Вывод схемы трехэтапного метода Гира

Тема 16. Численные методы интегрирования жестких систем ОДУ.

Понятие о жестких системах ОДУ. Классификация. Устойчивость. Методы интегрирования жестких систем

Тема 17. Граничные задачи для ОДУ.

Граничные задачи для ОДУ. Разностные аппроксимации производных. Построение разностных уравнений. Граничные задачи для разностных уравнений.

Тема 18. Конечно-разностные методы для дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП).

Сеточные методы для краевых задач для ДУЧП эллиптического типа. Решение двумерной задачи Дирихле для уравнения Лапласа в прямоугольнике. Метод релаксации. Сеточные методы для ДУЧП параболического типа. Устойчивость разностных схем для уравнения теплопроводности. Выбор параметра устойчивой схемы. Особенности численных методов решения ДУЧП гиперболического типа. Разностная схема "крест" для волнового уравнения: аппроксимация, устойчивость, сходимость.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования с применением дистанционных образовательных технологий

Номер темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные работы		
3 семестр		22	34	4	
1	Введение в численные методы	2			Устный опрос
2.	Приближенный анализ	2			Устный опрос
3	Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)	2	4		Устный опрос
4	Итерационные методы решения СЛАУ	2	4		Устный опрос
5	Интерполяция	2	4		Устный опрос
6	Интерполяция сплайнами	2	4	2	Контрольная работа по темам 1-5
7	Численные методы вычисления определенных интегралов	4	8		Устный опрос
8	Численное интегрирование несобственных интегралов	2	4		Устный опрос
9	Статистическое моделирование	2			Устный опрос
10	Кратные интегралы	2	6	2	Контрольная работа по темам 6-9
4 семестр		18	34	2	
11	Численные методы решения нелинейных уравнений	2	4		Устный опрос
12	Численные методы решения систем нелинейных уравнений	2			Устный опрос
13	Задачи минимизации	2	6		Устный опрос
14	Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).	2	4		Устный опрос

Номер темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов		Количество часов УСП	Форма контроля знаний
		Лекции	Лабораторные работы		
15	Специальные методы интегрирования ОДУ.	2	4		Устный опрос
16	Численные методы интегрирования жестких систем ОДУ	2	4		Устный опрос
17	Граничные задачи для ОДУ	2			Устный опрос
18	Конечно-разностные методы для дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП).	4	12	2	Контрольная работа по темам 11-18

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы / А.А. Самарский, А.В. Гулин — М.: “Наука”, 1989.
2. Численные методы : в 2 кн. Кн. 1. Численный анализ : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования/ Н.Н.Калиткин, Е.А.Алыпина. — М. : Издательский центр «Академия», 2013. — 304 с.
3. Численные методы : в 2 кн. Кн. 2. Методы математической физики : учебник для студ. учреждений высш. проф. образования / Н. Н. Калиткин, П. В. Корякин. — М.: Издательский центр «Академия», 2013. — 304 с. —
4. Федоренко Р. П. Введение в вычислительную физику: Учебное пособие для вузов / Р. П. Федоренко / Под ред. А. И. Лобанова. — 2-е изд., испр. и доп. — Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2008. — 504 с.
5. Брайант Р., Q'Халларон Д. Компьютерные системы: архитектура и программирование. Пер. с англ. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 1104 с.: ил.
6. Ильин В.П. Численный анализ. Часть 1. / В.П. Ильин. – Новосибирск, Изд. ИВМиМГ СО РАН, 2004. – 335 с.
7. Ермаков С.М. Статистическое моделирование / С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. М.:Наука, 1982.
8. Зенков, А. В. Численные методы : учеб. пособие / А. В. Зенков. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2016. — 124 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Марчук Г.И. Методы вычислительной математики / Г.И. Марчук. СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 608 с.
2. Ильин В.П. Математическое моделирование. Часть 1. Непрерывные и дискретные модели / В. П. Ильин. — Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, 2017. 2017. — 428 с.
3. Grewal. B. S. Numerical methods in engineering and science: C, C++, and Matlab / B. S. Grewal. Mercury Learning and Information, 2019. – 936p.
4. Gezerlis A. Numerical Methods in Physics with Python / A. Gezerlis. Cambridge University Press, 2020. – 605 p.
5. Крылов В.И. Вычислительные методы высшей математики. Т.1. / В.И. Крылов, В.В. Бобков, П.И. Монастырный. М: «Наука», 1976. – 304 с.
6. Крылов В.И. Вычислительные методы высшей математики. Т.1. / В.И. Крылов, В.В. Бобков, П.И. Монастырный. М: «Наука», 1977. – 401 с.
7. Демидович Б.П. Численные методы анализа. Приближение функций, дифференциальные и интегральные уравнения / Б.П. Демидович, И.А. Марон, Э.З. Шувалова. М.: «Лань», 2010.
8. Тыртышников Е.Е. Методы численного анализа / Е.Е. Тыртышников. М. – 2006. 291 с.

Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки

Для диагностики компетенций и текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать устный опрос, компьютерное тестирование по темам дисциплины, отчет по выполнению лабораторных работ, контрольные работы. Контрольные мероприятия проводятся в соответствии с учебно-методической картой дисциплины. В случае неявки на контрольное мероприятие по уважительной причине студент вправе по согласованию с преподавателем выполнить его в дополнительное время. Для студентов, получивших неудовлетворительные оценки за контрольные мероприятия, либо не явившихся по неуважительной причине, по согласованию с преподавателем и с разрешения заведующего кафедрой мероприятие может быть проведено повторно. Предлагается аналогичное домашнее задание, обязательное выполнение которого является необходимым условием для получения зачета и допуска к экзамену.

Контрольная работа проводится в письменной форме. На выполнение контрольной работы отводится 2 часа. Отчет по лабораторным работам загружается студентом в соответствующий курс на образовательном портале физического факультета (eduphys.bsu.by).

Оценка всех форм текущего контроля проводится по десятибалльной шкале.

Формой текущей аттестации по дисциплине «Численные методы в физике» учебным планом предусмотрен зачет и экзамен.

При формировании итоговой оценки используется рейтинговая оценка знаний студента, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Рейтинговая оценка предусматривает использование весовых коэффициентов для текущего контроля знаний и текущей аттестации студентов по дисциплине.

Примерные весовые коэффициенты, определяющие вклад текущего контроля знаний и текущей аттестации в рейтинговую оценку:

Формирование оценки за текущую успеваемость:

- средняя оценка по контрольным работам – 40 %;
- средняя оценка по отчетам о выполнении л/р – 60 %;

Рейтинговая оценка по дисциплине рассчитывается на основе оценки текущей успеваемости и экзаменационной оценки с учетом их весовых коэффициентов. Вес оценки текущей успеваемости составляет 40 %, экзаменационной оценки – 60 %.

Примерный перечень заданий для управляемой самостоятельной работы студентов

В качестве управляемой самостоятельной работы студентов планируется решение задач, выполнение упражнений. Форма контроля: контрольная работа, отчет о выполнении лабораторной работы.

Примерный перечень тем контрольных работ:

1. Введение в численные методы
2. Приближенный анализ
3. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)
4. Итерационные методы решения СЛАУ
5. Интерполяция
6. Интерполяция сплайнами
7. Численные методы вычисления определенных интегралов
8. Численное интегрирование несобственных интегралов
9. Статистическое моделирование
10. Кратные интегралы
11. Численные методы решения нелинейных уравнений
12. Численные методы решения систем нелинейных уравнений
13. Задачи минимизации
14. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).
15. Специальные методы интегрирования ОДУ.
16. Численные методы интегрирования жестких систем ОДУ
17. Граничные задачи для ОДУ
18. Конечно-разностные методы для дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП).

Примерный перечень тем компьютерного тестирования:

1. Введение в численные методы
2. Приближенный анализ
3. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)
4. Итерационные методы решения СЛАУ
5. Интерполяция
6. Интерполяция сплайнами
7. Численные методы вычисления определенных интегралов
8. Численное интегрирование несобственных интегралов
9. Статистическое моделирование
10. Кратные интегралы
11. Численные методы решения нелинейных уравнений
12. Численные методы решения систем нелинейных уравнений
13. Задачи минимизации

14. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).
15. Специальные методы интегрирования ОДУ.
16. Численные методы интегрирования жестких систем ОДУ
17. Граничные задачи для ОДУ
18. Конечно-разностные методы для дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП).

Примерный перечень тем лабораторных работ:

1. Прямые методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ)
2. Итерационные методы решения СЛАУ
3. Интерполяция
4. Интерполяция сплайнами
5. Численные методы вычисления определенных интегралов
6. Численное интегрирование несобственных интегралов
7. Кратные интегралы
8. Численные методы решения нелинейных уравнений
9. Задачи минимизации
10. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений (ОДУ).
11. Специальные методы интегрирования ОДУ.
12. Численные методы интегрирования жестких систем ОДУ
13. Конечно-разностные методы для дифференциальных уравнений в частных производных (ДУЧП).

Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины

При организации образовательного процесса рекомендуется использовать следующие инновационные подходы и методы:

1. **Практико-ориентированный подход**, который предполагает освоение содержания образования через решения практических задач, которые способствуют формированию основ дальнейшей профессиональной деятельности.
2. **Развитие критического мышления**: формирование навыков работы с информацией в процессе чтения и письма; понимания информации как отправного, а не конечного пункта критического мышления.

Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся

Самостоятельная работа студентов по данной дисциплине предполагает проработку основной и дополнительной литературы, самостоятельный поиск сведений, расширение конспекта лекций по результатам данной проработки.

Самостоятельную работу студентов следует организовывать на основе принципов системности и регулярности. В помощь студентам рекомендуется разрабатывать и совершенствовать дистанционный курс на образовательном портале физического факультета.

Примерный перечень вопросов к экзамену

1. Особенности использования дискретной арифметики с вещественными числами. Оценка погрешности для основных арифметических операций. Способы сравнения вещественных чисел.
2. Нормализованное и денормализованное представления вещественных чисел. Особые числа. Исключительные операции при выполнении арифметических операций.
3. Численные методы в схеме вычислительного эксперимента. Виды погрешностей в численных методах. Устойчивость, корректность, сходимость.
4. Метод Гаусса решения СЛАУ и его модификации. Вывод алгоритма метода исключений.
5. Вычисление определителей методом Гаусса.
6. Метод LU-декомпозиции решения СЛАУ и его модификации.
7. Контроль точности и уточнение приближенного решения прямого метода решения СЛАУ. Понятие невязки.
8. Нахождение обратной матрицы.
9. Обусловленность СЛАУ. Понятие нормы матрицы и нормы вектора. Оценка погрешности решения СЛАУ.
10. Итерационные методы решения СЛАУ (Якоби, Зейделя). Матричная запись итерационных методов. Теоремы о сходимости итерационного процесса к точному решению СЛАУ.
11. Необходимые и достаточные условия сходимости итерационных методов решения СЛАУ. Приведение систем к виду, пригодному для итераций. Априорная и апостериорная оценки погрешности.
12. Решение систем нелинейных алгебраических уравнений.
13. Решение нелинейных алгебраических уравнений. Основные этапы решения. Отделение корней (графический метод, метод бисекции).
14. Решение нелинейных уравнений методом Ньютона (касательных). Геометрическая интерпретация метода. Условие сходимости итерационного процесса.
15. Решение нелинейных уравнений методом простых итераций. Геометрическая интерпретация метода. Условие сходимости итерационного процесса.
16. Вычисление полиномов и операций с полиномами, правило Горнера.
17. Постановка задачи интерполирования. Применение интерполяции в численных методах. Интерполяция и экстраполяция. Интерполяция каноническим полиномом.

18. Интерполяционный полином Лагранжа. Вывод коэффициентов.
19. Интерполяционный полином Ньютона. Темные и конечные разности. Вывод коэффициентов.
20. Интерполяционный полином Невилла.
21. Погрешность интерполирования. Сходимость процесса интерполяции.
22. Интерполяция сплайнами. Вывод уравнений для сплайн-коэффициентов. Преимущества сплайн-интерполяции.
23. Квадратурные формулы интерполяционного типа. Методы численного интегрирования Ньютона-Котеса: Общая схема. Вычисление коэффициентов.
24. Формулы (локальные и составные) численного интегрирования прямоугольников и трапеций с выводом и оценкой точности.
25. Формулы (локальные и составные) численного интегрирования Симпсона с выводом и оценкой точности.
26. Экстраполяционный переход к пределу Ричардсона. Апостериорные оценки погрешности. Формулы Рунге и Эйткена.
27. Метод Ромберга.
28. Методы Гаусса-Кристоффеля для вычисления определенных интегралов: общая схема, вывод системы для определения узлов и весов квадратур Гаусса. Свойства полиномов Лежандра.
29. Примеры построения формул Гаусса-Кристоффеля для различных весовых функций. Ортогональные многочлены.
30. Постановка задачи для интегрирования ОДУ. Типы задач для ОДУ. Основные понятия и определения.
31. Методы Эйлера (явный, неявный, усовершенствованный) решения задачи Коши для ОДУ. Определение порядка метода. Физическая и геометрическая интерпретация метода Эйлера.
32. Усовершенствованный метод Эйлера в применении к задаче Коши для систем ОДУ. Физическая интерпретация решения.
33. Решение задачи Коши для ОДУ-2 усовершенствованным методом Эйлера. Физическая интерпретация решения.
34. Общая схема методов Рунге-Кутты. Выбор коэффициентов. Таблица коэффициентов. Практическая оценка погрешности. Геометрическая интерпретация метода на примере одной из схем 4-го порядка
35. Метод Рунге-Кутты 4-го порядка в применении к системам ОДУ. Геометрическая интерпретация.
36. Адаптивный выбор шага интегрирования и контроль точности в методах Рунге-Кутты
37. Метод Булирша-Штёра — численный метод решения обыкновенных дифференциальных уравнений
38. Общая схема многошаговых методов. Основные определения. Пример многошагового метода.

39. Граничные задачи для ОДУ. Разностные аппроксимации производных. Построение разностных уравнений.
40. Общая постановка задачи статистического моделирования.
41. Разновидности генераторов случайных чисел.
42. Моделирование дискретной случайной величины с заданной вероятностью.
43. Моделирование дискретных случайных величин, равномерно распределенных в произвольном интервале.
44. Моделирование дискретной случайной величины, имеющей распределение Пуассона.
45. Моделирование непрерывной случайной величины, имеющей экспоненциальное распределение
46. Моделирование непрерывной случайной величины, имеющей нормальное распределение.
47. Задача о случайных блужданиях, применение метода Монте-Карло.
48. Построение плотностей распределения и гистограмм.
49. Поиск минимума функции методом деления отрезка пополам, методом 'золотого сечения'.
50. Особенности решения ДУЧП методом конечных разностей; явные и неявные схемы.
51. Особенности решения ДУЧП гиперболического типа методом конечных разностей; дисперсия на сетке, сходимость и устойчивость.
52. Особенности решения ДУЧП гиперболического типа для открытых задач, поглощающие граничные условия.
53. Разностная схемы Лакса и Лакса-Вендроффа для уравнений гидродинамики: аппроксимация, устойчивость, сходимость.
54. Разностная схема "крест" для волнового уравнения: аппроксимация, устойчивость, сходимость.
55. Сеточные методы для ДУЧП параболического типа. Устойчивость разностных схем для уравнения теплопроводности. Выбор параметра устойчивой схемы.
56. Сеточные методы для краевых задач для ДУЧП эллиптического типа. Решение двумерной задачи Дирихле для уравнения Лапласа в прямоугольнике.

Методические рекомендации по организации обучения в случае необходимости преимущественного применения электронных средств обучения (ЭСО).

В случае необходимости проведения занятий с преимущественным применением электронных средств обучения (далее - ЭСО), занятия следует проводить на образовательном портале физического факультета (www.eduphys.bsu.by). Для обеспечения учебного процесса преподаватель может использовать все технические средства, предоставляемые образовательным порталом физического факультета. В случае технической

неисправности образовательного портала преподаватель вправе использовать иные ресурсы по своему усмотрению.

Контрольные мероприятия проводятся на образовательном портале согласно учебно-методической карте. В случае необходимости письменные контрольные работы разрешается заменить компьютерным тестированием, эссе, индивидуальным заданием или иной доступной на образовательном портале формой контроля знаний. Преподаватель вправе не проводить контроль знаний после каждого занятия.

Проведение экзамена в устной форме

1. Всем студентам дается примерно одинаковое время на подготовку и ответ. Расписание ответов согласуется со студентами до начала экзамена
2. Студент получает доступ к своему заданию в назначенное время. Ответ оформляется студентом в письменном виде, затем сканируется.
3. После окончания времени подготовки студент подключается к соответствующему вебинару (bigbluebutton или иному) на образовательном портале физического факультета, включает микрофон и вебкамеру (или иными способами идентифицирует свою личность).
4. Преподаватель предоставляет студенту возможность продемонстрировать свой экран с подготовленным ответом на экзаменационный билет и проводит опрос.
5. Преподаватель сообщает студенту оценку текущего контроля, экзаменационную и рейтинговую оценку. Студент устно подтверждает, что ознакомлен с итоговой оценкой.
6. Аудио- и видеозапись вебинара ведется в случае наличия технических возможностей.

Проведение экзамена в форме компьютерного теста.

1. Все студенты начинают проходить тест в одно и то же время. Время начала теста, длительность теста и количество вопросов в тесте сообщается студентам заранее (не позднее, чем на консультации). По истечении времени открытые попытки отправляются автоматически.
2. Тест закрывается в установленный срок, определяемый преподавателем и сообщаемый студентам заранее (не позднее, чем на консультации). Длительность теста не может превышать времени от начала теста до его закрытия, но может с ним совпадать.
3. Студент может видеть результаты своей попытки (а именно: является ли его ответ на каждый вопрос правильным, баллы за ответ, правильный ответ на каждый вопрос, итоговый отзыв к тесту) только после закрытия теста.
4. Экзаменационная оценка (оценка текущей аттестации) выставляется на основании шкалы перевода процента верных ответов в десятибалльную оценку:

Процент	0-	15-	25-	35-	45-	55-	65-	75-	85-	95-
---------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

верных ответов	14	24	34	44	54	64	74	84	94	100
Оценка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10

5. Решением кафедры данную шкалу можно изменить. Студенты должны быть ознакомлены со шкалой заранее (не позднее, чем на консультации).
6. После закрытия теста на протяжении 45 минут (срок апелляции) студент имеет право обратиться в письменной форме на образовательном портале в соответствующем форуме данного курса к преподавателю за пояснениями о том, почему его ответ на тот или иной вопрос был неверен. В течение 90 минут с момента появления вопроса студент должен получить письменные разъяснения со стороны преподавателя.
7. После ответа на последний вопрос (или по истечении срока апелляции, если вопросов не было), преподавателем уже в течение 45 минут должна быть выставлена на образовательном портале фотография (скан) заполненной экзаменационной ведомости с итоговыми оценками по дисциплине.
8. На протяжении двух часов после выставления экзаменационной ведомости по дисциплине каждый студент должен в письменной форме на образовательном портале подтвердить, что он ознакомлен с итоговой оценкой по курсу.
9. По усмотрению преподавателя, если шкала перевода процента верных ответов на тест имеет верхнее ограничение ниже 10 баллов, то студент имеет право на ответ в устной или устно-письменной форме для получения наивысшей оценки текущей аттестации. В таком случае, после закрытия теста студент выходит на связь с преподавателем любым заранее (не позднее, чем на консультации) оговоренным образом. Время апелляции начинает отсчитываться от окончания видеосвязи с последним студентом, и далее вступают в силу п.п. 6-8.
10. Если по каким-то причинам студент не имеет технической возможности пройти тест он-лайн в установленное время, он обязан сообщить об этом не позднее, чем на консультации, для того, чтобы факультет предоставил ему такую возможность.
11. В случае возникновения во время теста обстоятельств непреодолимой силы, не позволяющих студенту пройти тест, он незамедлительно должен сообщить об этом преподавателю любым способом.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ
ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на ____ / ____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры
компьютерного моделирования
(протокол № ____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
компьютерного моделирования
к.ф.-м.н., доцент

_____ О.Г. Романов

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета БГУ
к.ф.-м.н., доцент

_____ М.С. Тиванов