

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО
Проректор по учебной работе

А.А. Воронов

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Численные методы для уравнений в частных производных
по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительной физики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 75 час.

Всего часов: 135, всего зач. ед.: 3

Количество контрольных работ, заданий: 4

Программу составил: И.Б. Петров, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

Программа обсуждена на заседании кафедры вычислительной физики 28.05.2023

Аннотация

В программу данного курса включены основные разделы вычислительной математики: теория погрешностей, теория аппроксимации функций, введение в методы машинного обучения, численные методы решения линейных и нелинейных систем уравнений, численное интегрирование, численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений и уравнений в частных производных.

В ходе изучения курса студент будет иметь следующие компетенции:

- знания основных вычислительных методов, применяемых для аппроксимации функций, решения линейных и нелинейных систем уравнений, дифференциальных уравнений (обыкновенных и в частных производных), численного интегрирования;
- умение применять численные методы для решения конкретных вычислительных задач;
- умение исследовать вычислительные методы на сходимость, аппроксимацию, устойчивость;
- умение строить вычислительные алгоритмы для решения конкретных задач с помощью компьютера;
- умение решать корректно поставленные задачи с помощью компьютера;
- умение анализировать полученные численные решения;
- умение работать с онлайн и интернет учебными ресурсами.

Все указанные компетенции реализуются и проверяются в ходе учебного процесса с использованием лекций, семинаров, лабораторных работ, заданий, контрольных работ, зачетов, онлайн ресурсов.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Сформировать у студентов систематическое представление о:

- 1) методах приближенного решения наиболее распространенных базовых типов математических задач;
- 2) источниках погрешностей и методах их оценки;
- 3) методах решения актуальных прикладных задач.

Задачи дисциплины

- 1) Освоение материала охватывающего основные задачи и методы вычислительной математики.
- 2) Формирование целостного представления о численных методах решения современных научных прикладных задач.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

Область применения, теоретические основы, основные принципы, особенности и современные тенденции развития методов вычислительной математики.

уметь:

Применять методы численного анализа для приближенного решения задач в области своей научно-исследовательской работы.

владеть:

Программными средствами разработки вычислительных алгоритмов и программ, способами их отладки, тестирования и практической проверки соответствия реализованного алгоритма теоретическим оценкам.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Вариационно- и проекционно-разностные методы построения разностных схем. Метод конечных элементов.	4		6	10
2	Численные методы решения линейных уравнений в частных производных параболического типа	4		4	10
3	Понятие жесткой задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений	4		4	10
4	Разностные методы решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных	6		4	10
5	Численное решение краевых задач для ОДУ	4		2	10
6	Численные методы решения уравнений в частных производных гиперболического типа на примере уравнения переноса и волнового уравнения.	4		4	10
7	Численные методы решения уравнений в частных производных эллиптического типа	2		4	10
8	Понятие о пакете OpenFoam	2		2	5
Итого часов		30		30	75
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		135 час., 3 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 6 (Весенний)

1. Вариационно- и проекционно-разностные методы построения разностных схем. Метод конечных элементов.

Вариационно- и проекционно-разностные методы построения разностных схем. Метод конечных элементов.

2. Численные методы решения линейных уравнений в частных производных параболического типа

Численные методы решения линейных уравнений в частных производных параболического типа.

Разностные схемы для решения многомерных уравнений теплопроводности. Понятие о методах расщепления. Метод переменных направлений. *Разностные схемы для квазилинейного уравнения теплопроводности. *Консервативные разностные схемы.

3. Понятие жесткой задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений

Понятие жесткой задачи Коши для систем обыкновенных дифференциальных уравнений (ЖС ОДУ). * Численное решение ЖС ОДУ. А-устойчивые, $A(\alpha)$ -устойчивые и L-устойчивые схемы. *Анализ двухточечных схем (Рунге–Кутты), линейных многошаговых схем в пространстве неопределенных коэффициентов. *Одноитерационные методы Розенброка.

4. Разностные методы решения задач, описываемых дифференциальными уравнениями в частных производных

Методы построения аппроксимирующих разностных уравнений для уравнений в частных производных.

Аппроксимация, устойчивость, сходимость. Приемы исследования разностных задач на устойчивость.

Принцип максимума, спектральный признак устойчивости, принцип замороженных коэффициентов.

5. Численное решение краевых задач для ОДУ

Методы решения линейных краевых задач (метод численного построения общего решения, конечно-разностный метод для линейного уравнения второго порядка, метод прогонки). Методы решения нелинейных краевых задач (метод стрельбы, метод квазилинеаризации). Задача на собственные значения. Задача Штурма—Лиувилля.* Понятие жесткой краевой задачи. *Методы решения жесткой линейной краевой задачи.

6. Численные методы решения уравнений в частных производных гиперболического типа на примере уравнения переноса и волнового уравнения.

Корректная постановка краевых условий для системы уравнений с частными производными гиперболического типа. Характеристики, инварианты Римана. Разностные схемы для характеристической формы записи системы.

7. Численные методы решения уравнений в частных производных эллиптического типа

Разностная схема «крест» для численного решения уравнений Лапласа, Пуассона. Итерационные методы для численного решения возникающих систем линейных уравнений. Принцип установления для решения стационарных задач. Условия сходимости.

8. Понятие о пакете OpenFoam

Решение типовых задач в пакете OpenFoam

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная персональными компьютерами, мультимедиапроектором и экраном.

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. Вычислительная математика / А. И. Лобанов, И. Б. Петров, Москва, Физматкнига, 2021
2. Вычислительная математика для физиков, Электронная версия печатной публикации / И. Б. Петров. — Москва, Физматлит, 2021

Дополнительная литература

Фонд литературы базовой кафедры

1. Лабораторный практикум «Основы вычислительной математики». — 2-е изд. исп. и дополн. / Иванов В.Д., Косарев В.И., Лобанов А.И., Петров И.Б., Пирогов В.Б., Рябенский В.С., Старожилова Т.К., Тормасов А.Г., Утюжников С.В., Холодов А.С. — М.: Изд-во МЗ пресс, 2003, 196 с.
2. Самарский А.А., Гулин А.В. Численные методы. — М.: Наука, 1989.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

http://mipt.ru/education/chair/computational_mathematics/study/materials/compmath/

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Компиляторы и среды разработки C++, PYTHON

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий курс должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса отведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы,
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- решение задач, предлагаемых студентам на практических занятиях и в качестве курсового задания,
- подготовку к практическим занятиям и зачетам.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Показателем владения материалом служит умение решать теоретические и практические задачи.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания, ощутить взаимосвязь между темами курса.

При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору или преподавателю, ведущему практические занятия.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Информатика и вычислительная техника
профиль подготовки:	Математическое моделирование и компьютерные технологии Физтех-школа Прикладной Математики и Информатики кафедра вычислительной физики
курс:	3
квалификация:	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 6 (весенний) - Дифференцированный зачет

Разработчик: И.Б. Петров, д-р физ.-мат. наук, профессор, профессор

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять поиск, критический анализ и синтез информации, применять системный подход для решения поставленных задач	УК-1.1 Анализирует задачу, выделяя этапы ее решения, действия по решению задачи
	УК-1.2 Находит, критически анализирует и выбирает информацию, необходимую для решения поставленной задачи
	УК-1.3 Рассматривает различные варианты решения задачи, оценивает их преимущества и недостатки
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Численные методы для уравнений в частных производных» обучающийся должен:

знать:

Область применения, теоретические основы, основные принципы, особенности и современные тенденции развития методов вычислительной математики.

уметь:

Применять методы численного анализа для приближенного решения задач в области своей научно-исследовательской работы.

владеть:

Программными средствами разработки вычислительных алгоритмов и программ, способами их отладки, тестирования и практической проверки соответствия реализованного алгоритма теоретическим оценкам.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

см. файл

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

см. файл

Критерии оценивания

см. файл

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

см. файл

3. Перечень типовых контрольных заданий, используемых для оценки знаний, умений, навыков

Промежуточная аттестация по дисциплине «Вычислительная математика» осуществляется в форме **дифференцированного зачета**. Дифференцированный зачет проводится по итогам текущей успеваемости, выявляемой при написании полусеместровой и семестровой контрольных работ, а также при сдаче заданий, лабораторных и других видов работ, предусмотренных программой дисциплины и путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.

Перечень контрольных вопросов:

- 1) Разностные уравнения с постоянными коэффициентами. Построение общего решения разностных задач для функции одного переменного и для систем.
- 2) Разностные уравнения с постоянными коэффициентами. Приложение к спектральным задачам.
- 3) Явные методы Рунге–Кутты (ЯМРК). Теорема об устойчивости ЯМРК.
- 4) Условия порядка для ЯМРК. Связь порядка аппроксимации и числа стадий метода. Барьеры Бутчера. Функция устойчивости ЯМРК с порядком аппроксимации не выше четвертого при минимальном числе стадий.
- 5) Понятие о жестких системах ОДУ. Определение А–устойчивости метода решения ОДУ. Неявные методы Рунге–Кутты. Функция устойчивости неявных методов Рунге–Кутты.
- 6) Определение А–устойчивости метода решения ОДУ. Исследование аппроксимации и устойчивости многшаговых методов. Понятие о кривой локуса корней.
- 7) Одноитерационные методы Розенброка решения жесткой задачи Коши. Схема CROS.
- 8) Краевые задачи для системы ОДУ первого порядка. Уравнение теплопроводности как классический пример краевой задачи для уравнения второго порядка. Теорема об устойчивости прогонки для решения краевой задачи для уравнения второго порядка.
- 9) Краевые задачи для системы ОДУ первого порядка. Метод фундаментальных систем (МФС) для решения краевой задачи для системы ОДУ. Пример, когда МФС не работает.
- 10) Методы решения нелинейных краевых задач: метод стрельбы, метод квазилинеаризации Ньютона.
- 11) Основные виды уравнений в частных производных. Основные понятия теории разностных схем для решения уравнений в частных производных: сходимость, аппроксимация, устойчивость. Основная теорема вычислительной математики.
- 12) Методы построения разностных схем: конечно-разностный, метод неопределенных коэффициентов, интегро-интерполяционный, интерполяционно-характеристический, метод прямых и др.
- 13) Методы исследования устойчивости схем для уравнений в частных производных. Отличие эволюционных задач от неэволюционных. Спектральный признак устойчивости для эволюционных задач.
- 14) Условие Куранта–Фридрихса–Леви устойчивости эволюционных схем.
- 15) Элементы теории Самарского устойчивости двухслойных разностных схем. Канонический вид двухслойной разностной схемы. Энергетический признак устойчивости по начальным данным.
- 16) Устойчивость по правой части как следствие устойчивости по начальным данным.
- 17) Монотонность двухслойных разностных схем. Теорема о неотрицательных коэффициентах монотонной двухслойной разностной схемы.
- 18) Разностные схемы для решения уравнений параболического типа. Понятие и явных и неявных схемах. Параболическое число Куранта. Двухслойные и трехслойные параметрические схемы, их порядок аппроксимации, устойчивость, монотонность.
- 19) Основные разностные схемы для решения уравнения переноса. Первое дифференциальное приближение схемы "явный левый уголок" для уравнения переноса.
- 20) Диссипативная и дисперсионная ошибки разностной схемы для уравнения переноса. Связь с устойчивостью схемы.
- 21) Монотонность двухслойных разностных схем для уравнений в частных производных. Теорема Годунова.

- 22) Системы уравнений в частных производных гиперболического типа. Инварианты Римана. Корректная постановка краевых условий.
- 23) Схема "крест" для решения волнового уравнения. Трехслойная схема с весами, порядок ее аппроксимации, устойчивость.
- 24) Переход от волнового уравнения к системе двух уравнений акустики. Двухслойная схема с весами для системы уравнений акустики. Порядок аппроксимации, устойчивость. Инварианты Римана акустической системы.
- 25) Уравнения в частных производных эллиптического типа. Устойчивость схемы «крест» для аппроксимации уравнения Пуассона. Чем доказательство устойчивости в этом случае отличается от доказательства устойчивости для эволюционных задач?
- 26) Методы решения сеточных задач, возникающих при аппроксимации уравнений в частных производных эллиптического типа. Обусловленность возникающей СЛАУ. Решение СЛАУ методами Якоби, Зейделя, последовательной верхней релаксацией (ПВР). Последовательное и шахматное упорядочивание узлов. Оптимальный параметр ПВР при шахматном упорядочивании узлов.
- 27) Методы решения сеточных задач, возникающих при аппроксимации уравнений в частных производных эллиптического типа, основанные на методе установления: метод простой итерации с оптимальным параметром, чебышевский набор итерационных параметров и их перестановки для обеспечения устойчивости метода в случае числа шагов, являющегося степенью двойки, метод переменных направлений с оптимальным шагом, попеременно-треугольный метод.
- 28) Сравнение численных методов решения сеточных уравнений, возникающих при аппроксимации уравнений эллиптического типа, по эффективности.

Примеры контрольных заданий:

2. Типовой вариант полусеместровой контрольной работы

КВ. 4 Теорема об устойчивости явных методов Рунге-Кутты. Эта устойчивость строгая или нестрогая?

Задача 1. **2** По заданной таблице Бутчера восстановить метод Рунге-Кутты. **1** Определить, является данный метод явным или неявным.

1/3	5/12	-1/12
1	3/4	1/4
	3/4	1/4

Задача 2. Для решения задачи Коши нежестких систем ОДУ используется явный метод Рунге-Кутты порядка p . **1** Какое наименьшее количество стадий должен иметь метод? **2** Выписать общий вид функции устойчивости для методов этого класса в случае: $p=2$ и $p=7$.

Задача 3. **3** Исследовать на А-устойчивость схему: $y^{n+1} - y^n = h \cdot (0.7 f^{n+1} + 0.3 f^n)$

Задача 4. Для решения жестких систем ОДУ используется неявный метод Рунге-Кутты (НМРК), заданный таблицей Бутчера:

1/2	$-\sqrt{3}/6$...	0
...	$\sqrt{3}/3$...	
	

А) **2** дополнить недостающие коэффициенты таблицы на основании условий Кутты и

аппроксимации более чем первого порядка для **однократно** диагонально неявного МРК.

2

Проверить выполнение условий третьего порядка аппроксимации.

Б) [4] Найти функцию устойчивости. [4] Исследовать метод на А-, L- устойчивость и монотонность.

Задача 5. Для краевой задачи

$$y' + \frac{1+\pi x}{1+\pi^2 x^2} y' + \cos(\pi x) y = \frac{1}{1+x^2}, \quad y(0) + 2y'(0) = 3, \quad y(1) = 1$$

А) [4] Предложить аппроксимацию второго порядка на двух точках левого граничного условия.

Б) [2] Построить аппроксимацию второго порядка для этого уравнения.

В) [3] Предложить и обосновать корректный метод решения полученной системы разностных уравнений.

Задача 6. [4] Найти все решения задачи на собственные значения

$$y_{n+1} - (2 - h^2) y_n + y_{n-1} = -\lambda h^2 y_n, \quad y_0 = 0, \quad y_N = 0, \quad h = \frac{1}{N}.$$

Задача 7. [5] Найти все решения разностного уравнения $u_{n+3} - 3u_{n+2} + 3u_{n+1} - u_n = n$.

Задача 8. [4] Среди многшаговых методов заданного вида найти схему наибольшего порядка аппроксимации и [1] определить, является ли полученный метод А-устойчивым:

$$4 \frac{y_{n+1} - y_{n-1}}{2h} - 3 \frac{y_{n+1} - y_n}{h} = a f_{n+1} + b f_n + c f_{n-1}, \text{ или, в другой форме:}$$

$$-y_{n+1} + 3y_n - 2y_{n-1} = h(a f_{n+1} + b f_n + c f_{n-1}).$$

Типовой вариант семестровой контрольной работы

КВ. [4] Доказать, что если $A = A^* > 0, B = B^*$, то условие $B \geq \frac{\tau}{2} A$ является необходимым и достаточным условием устойчивости по начальным данным однородной двухслойной разностной схемы, записанной в каноническом виде.

1. [6] Исследовать на сходимость разностную схему для уравнения теплопроводности

$$\frac{\hat{y}_x - y_x}{2\tau} = a^2 \left(\frac{1}{4} \Delta_{xx} \hat{y}_x + \frac{1}{2} \Delta_{xx} y_x + \frac{1}{4} \Delta_{xx} y_x \right) + f_m^n.$$

2. [4] Какую дифференциальную задачу и с каким порядком аппроксимирует данная разностная задача. Выписать главные члены ошибки аппроксимации.

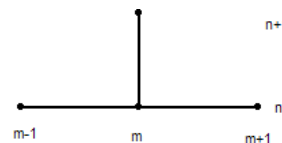
$$\frac{u_m^{n+1} - 0.5(u_m^n + u_{m-1}^n)}{\tau} + \frac{u_m^n + 4u_{m-1}^n - 5u_{m-2}^n}{h} = \varphi_m^n.$$

2 Показать, что данная разностная схема является заведомо неустойчивой, если шаги τ и h измельчаются так, что $7\tau / h = \text{const} > 2$.

3. Дана система уравнений в частных производных

$$\frac{\partial u}{\partial t} + 3 \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{\partial v}{\partial x} = f(t, x), \quad \frac{\partial v}{\partial t} - 2 \frac{\partial u}{\partial x} + 4 \frac{\partial v}{\partial x} = g(t, x),$$

с начальными условиями $u(0, x) = \varphi_1(x)$, $v(0, x) = \varphi_2(x)$, $0 \leq x \leq 1$.



А) **2** Показать, что система является гиперболической.

4 Даны четыре варианта краевых условий к этой системе:

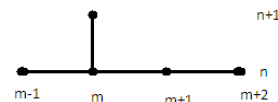
- 1) $u(t, 0) = \psi_1(t)$, $v(t, 1) = \psi_2(t)$. 2) $2u(t, 0) + v(t, 0) = \psi_1(t)$, $v(t, 0) = \psi_2(t)$.
 3) $u(t, 1) + v(t, 1) = \psi_1(t)$, $u(t, 1) = \psi_2(t)$. 4) $u(t, 0) + v(t, 0) = \psi_1(t)$, $u(t, 0) - v(t, 0) = \psi_2(t)$.

Определить корректные постановки краевых условий для этой задачи из предложенных вариантов (если условия некорректны, указать, почему);

Б) **4** Предложить устойчивую разностную схему для решения данной системы уравнений на указанном шаблоне с порядком выше $O(\tau + h)$. Найти условие устойчивости схемы.

4. **6** Методом неопределенных коэффициентов получить неявную схему Адамса 3 порядка аппроксимации для решения задачи Коши $u' = f(x, u)$, $u(0) = u_0$.

5. **6** Интерполяционно-характеристическим методом или методом неопределенных коэффициентов построить схему наивысшего порядка аппроксимации для однородного линейного уравнения переноса



$u'_t - cu'_x = 0$ ($c > 0$) на предложенном шаблоне. Определить условие устойчивости схемы из условия Куранта–Фридрихса–Леви.

6. **8** Для квазилинейного уравнения теплопроводности $u'_t = (u^{5/2} u'_x)_x$ построить аналог схемы Саульева, используя дивергентную запись уравнения. Исследовать получившуюся схему на устойчивость по принципу замороженных коэффициентов.

При выставлении оценки за контрольную работу контрольный вопрос по теории (КВ) является обязательным, без ответа на него работа оценивается как неудовлетворительная. При наличии ответа на КВ, за каждую задачу выставляется количество баллов от 0 до максимума, указанного для каждого пункта задачи в зависимости от полноты и правильности решения. Сумма первичных баллов переводится в оценку в десятичной системе делением на три.

4. Критерии оценивания

Оценка за семестр выставляется в соответствии с балльно-рейтинговой системой.

Баллы выставляются за каждую из двух контрольных работ и работы над ошибками к ним, за два задания, за курсовой проект, за активность на семинарах и присутствие на лекциях: Доля отметки за полусеместровую КР составляет 20% и 5% за работу над ошибками к ней (или 20 и 5 баллов).

Доля отметки за семестровую КР составляет 25% и 5% за работу над ошибками к ней (или 25 и 5 баллов).

Два задания вносят по 10% каждое (по 10 баллов).

Курсовой проект доставляет 20% в итоговую отметку (20 баллов).

Активность на семинарах 5% (5 баллов).

Присутствие на лекциях 10% (10 баллов).

При выставлении отметки есть два ограничения: при отсутствии курсового проекта не может быть выставлена отметка отлично (ни 8, ни 9), даже если сумма баллов это позволяет. Курсовой проект не принимается, если сумма остальных баллов ниже 40.

Итоговая оценка выставляется целочисленным делением на десять (т.е. отрезанием мантиссы) суммы баллов, при этом за преподавателем оставляется право провести устный опрос по нескольким темам, изученным в семестре.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

дифференцированного зачет проводится по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, лабораторных и других видов работ, предусмотренных программой дисциплины и путем организации специального опроса, проводимого в устной и письменной форме.

Время проведения письменной контрольной составляет 80 минут.

Во время проведения контрольной обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также вычислительной техникой.