

Федеральное государственное образовательное бюджетное
учреждение высшего образования
**«Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации»
(Финуниверситет)**

**Самарский финансово-экономический колледж
(Самарский филиал Финуниверситета)**

УТВЕРЖДАЮ
Заместитель директора по учебно-методической работе
Самарский филиал
Финуниверситета
Л.А Косенкова
21 февраля 2022 г.



**МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ПЛАНИРОВАНИЮ И ОРГАНИЗАЦИИ
САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ СТУДЕНТОВ
ПО ДИСЦИПЛИНЕ «ОП.10 ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ»**

**СПЕЦИАЛЬНОСТЬ: 09.02.07 ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И
ПРОГРАММИРОВАНИЕ**

Самара – 2022

Методические указания по планированию и организации самостоятельной работы студентов разработаны на основе рабочей программы по дисциплине «Численные методы», с учетом требований федерального государственного образовательного стандарта среднего профессионального образования по специальности 09.02.07 Информационные системы и программирование, утвержденного приказом Министерства образования науки Российской Федерации от 09.12.2016 года № 1547

Присваиваемая квалификация: администратор баз данных

Разработчики:

Платковская Е.А.



Преподаватель Самарского филиала
Финуниверситета

Методические указания по планированию и организации самостоятельной работы студентов рассмотрены и рекомендованы к утверждению на заседании предметной (цикловой) комиссии естественно-математических дисциплин

Протокол от « 24 » сентября 20 22 г. № 5

Председатель ПЦК  М.В. Писцова

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Данные методические указания составлены для самостоятельного изучения дисциплины «Численные методы» в соответствии с требованиями ФГОС и предназначены для реализации государственных требований к минимуму содержания и уровню подготовки выпускников по специальности 09.02.07. Информационные системы и программирование.

Данные методические указания предназначены для контроля и оценки уровня результатов освоения необходимых знаний и умений обучающихся, осваивающих программу учебной дисциплины ОП.10. «Численные методы» специальности среднего профессионального образования 09.02.07 Информационные системы и программирование.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **уметь**:

- использовать основные численные методы решения математических задач
- выбирать оптимальный численный метод для решения поставленной задачи.
- давать математические характеристики точности исходной информации и оценивать точность полученного численного решения
- разрабатывать алгоритмы и программы для решения вычислительных задач, учитывая необходимую точность получаемого результата.

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен **знать**:

- методы решения основных математических задач – интегрирования, дифференцирования, решения линейных и трансцендентных уравнений и систем уравнений.

В процессе практических занятий обеспечивается формирование и развитие универсальных учебных действий в контексте преемственности формирования общих компетенций:

Код	Наименование компетенций
ОК 01.	Выбирать способы решения задач профессиональной деятельности, применительно к различным контекстам.
ОК 02.	Осуществлять поиск, анализ и интерпретацию информации, необходимой для выполнения задач профессиональной деятельности.
ОК 04.	Работать в коллективе и команде, эффективно взаимодействовать с коллегами, руководством, клиентами.
ОК 05.	Осуществлять устную и письменную коммуникацию на государственном языке с учетом особенностей социального и культурного контекста.
ОК 09.	Использовать информационные технологии в профессиональной деятельности.
ОК 10.	Пользоваться профессиональной документацией на государственном и иностранном языке.
ПК 1.1.	Формировать алгоритмы разработки программных модулей в соответствии с техническим заданием.
ПК 1.2.	Разрабатывать программные модули в соответствии с техническим заданием.
ПК 1.5.	Осуществлять рефакторинг и оптимизацию программного кода.
ПК 11.1.	Осуществлять сбор, обработку и анализ информации для проектирования баз данных.

Объем учебной дисциплины и виды учебной работы.

Вид учебной деятельности	Объем часов
Объем образовательной программы	4
в том числе:	
теоретическое обучение	20
лабораторные работы	
практические занятия	18
Самостоятельная работа студента (всего)	12
Промежуточная аттестация – дифференцированный зачет	2

ВНЕАУДИТОРНАЯ САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТОВ

	Содержание внеаудиторной самостоятельной работы	Кол-во часов	Календарные сроки исполнения	Формы контроля
		очное		
1.	Выполнение домашних заданий теме 1. Элементы теории погрешностей. Ответ на контрольные вопросы. Выполнение письменного задания.	2	6 семестр	Письменный опрос, выполнение задания.
2.	Выполнение домашних заданий по теме 2. Приближённые решения алгебраических и трансцендентных уравнений. Ответ на контрольные вопросы. Выполнение письменного задания.	2	6 семестр	Письменный опрос, выполнение задания.
3.	Выполнение домашних заданий по теме 3. Решение систем линейных алгебраических уравнений. Ответ на контрольные вопросы. Выполнение письменного задания.	2	6 семестр	Письменный опрос, выполнение задания.
4.	Выполнение домашних заданий по теме 4. Интерполирование и экстраполирование функций. Ответ на контрольные вопросы. Выполнение письменного задания.	2	6 семестр	Письменный опрос, выполнение задания.
5.	Выполнение домашних заданий по теме 5. Численное интегрирование. Ответ на контрольные вопросы. Выполнение письменного задания.	2	6 семестр	Письменный опрос, выполнение задания.
6.	Выполнение домашних заданий по теме 6. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений. Ответ на контрольные вопросы. Выполнение письменного задания.	2	6 семестр	Письменный опрос, выполнение задания.
	Итого:	12		

Методические указания

Тема 1. Элементы теории погрешностей

Контрольные вопросы

1. Назовите причины возникновения погрешностей
2. Перечислите виды погрешностей
3. Назовите единицы измерения абсолютной и относительной погрешности
4. Как вычислить абсолютные и относительные погрешности суммы, разности, произведения и частного?
5. Чему равна предельная относительная погрешность произведения или частного?
6. Может ли погрешность быть отрицательным числом?
7. Как округлять результаты вычислений?
8. Какая погрешность позволяет судить о качестве произведенных измерений?

Выполните письменные задания в тетради.

Вычисления с учетом погрешностей

Необходимые сведения из теории

1. Абсолютная и относительная погрешности приближенных чисел и правило их записи.
2. Верные значащие цифры приближенных чисел.
3. Нахождение абсолютной погрешности по верным цифрам.
4. Правило округления чисел.
5. Правило записи приближенных чисел.
6. Оценка влияния погрешностей аргументов на значение функции.
7. Оценка погрешностей арифметических действий.

Задание

Пусть a, b, y — приближенные числа с верными в строгом смысле значащими цифрами, x — точное число. Вычислите

$$z = \frac{ab - e^x}{\sin y}$$

и оцените погрешность результата. Для вычисления значений функций e^x и $\sin y$ используйте либо математические таблицы, либо микрокалькулятор, либо компьютер.

Данные по	Порядок работы	Вариант	a	b	X	Y	вариантам выполнения
		1	2,03	-1,670	0,970	0,504	
2	0,971	3,26	0,035	-1,061			
3	1,510	-1,84	1,115	0,234			
4	-0,193	-5,97	0,871	2,060			
5	3,112	0,786	2,06	-2,541			
6	-1,745	1,090	1,836	-2,541			
7	10,7	0,0836	0,755	-1,43			
8	3,07	-1,247	0,601	0,967			
9	-0,812	2,19	1,64	0,367			
10	2,410	-0,794	2,019	1,96			
11	8,345	0,16	0,967	-2,112			
12	-1,050	2,47	1,318	0,840			
13	0,189	-9,375	1,08	1,05			
14	-14,1	0,781	0,542	0,641			
15	3,56	1,086	2,12	-2,396			

a	b	x	y
Δ_a	Δ_b	Δ_x	Δ_y
δ_a	δ_b	δ_x	δ_y

z_1	z_2	z_3	z_4	z
Δ_{z_1}	Δ_{z_2}	Δ_{z_3}	Δ_{z_4}	Δ_z
δ_{z_1}	δ_{z_2}	δ_{z_3}	δ_{z_4}	δ_z

Результаты расчетов расположите в таблицах:

где $z_1 = ab$, $z_2 = e^x$, $z_3 = z_1 - z_2$, $z_4 = \sin y$, $z = z_3/z_4$.

1. Заполните первую таблицу, определив абсолютные погрешности исходных данных по известным верным значащим цифрам.
2. Оцените погрешности $z_x = ab$, взяв для этого две-три значащие цифры произведения. Затем найдите верные значащие цифры z_1 и запишите ответ с одной сомнительной цифрой.
3. Вычислите $z_2 = e^x$ и округлите его при необходимости так, чтобы погрешность округления не оказала существенного влияния на точность дальнейших расчетов.

Продолжите таким же образом

Тема 2. Приближённые решения алгебраических и трансцендентных уравнений

Контрольные вопросы

1. В чем состоит отличие алгебраического уравнения от трансцендентного?
2. Сущность и физический смысл процедуры отделения корней
3. Обладает ли метод половинного деления гарантированной сходимостью?
4. Может ли в методе хорд интервал находиться с одной стороны от корня?
5. Назовите условие выбора интервала в методе касательных?
6. Как выбирается начальное приближение в методе касательных?
7. Для каких функций не рекомендуется применять метод касательных. Модификация метода Ньютона. Его особенности и случаи применения.

Выполните письменные задания в тетради.

Комбинированный метод хорд и касательных

Необходимые сведения из теории

1. Отделение корней уравнений аналитическим способом.
2. Условия, при которых для уточнения корней применяются методы хорд и касательных.
3. Правила выбора начальных приближений для методов хорд и касательных.
4. Алгоритм уточнения корней комбинированным методом хорд и касательных.
5. Условие окончания процесса вычислений при заданной допустимой погрешности.

Задание

Отделите аналитически один из корней данного уравнения и определите его с точностью до $\varepsilon = 0.5 \cdot 10^{-5}$ комбинированным методом хорд и касательных.

Уравнения по вариантам

Вариант	Уравнение	Вариант	Уравнение
1	$2x^3 - 3x^2 - 12x - 5 = 0$	2	$x^3 + 3x^2 - 24x - 10 = 0$
3	$x^3 - 3x^2 + 3 = 0$	10	$2x^3 + 9x^2 - 21 = 0$
4	$x^3 + 3x^2 - 2 = 0$	11	$x^3 + 3x^2 - 3,5 = 0$
5	$2x^3 - 3x^2 - 12x + 12 = 0$	12	$x^3 - 4x^2 + 2 = 0$
6	$x^3 + 3x^2 - 1 = 0$	13	$x^3 + 3x^2 - 24x + 1 = 0$
7	$x^3 - 3x^2 - 24x - 3 = 0$	14	$2x^3 - 3x^2 - 12x + 8 = 0$
8	$x^3 - 12x + 6 = 0$	15	$2x^3 + 9x^2 - 6 = 0$
9	$x^3 - 3x^2 + 2,5 = 0$		

Порядок выполнения работы

1. Отделите корни уравнения аналитически и выберите один из отрезков изоляции, на котором выполняются условия применимости метода.
2. Возьмите соответствующие начальные приближения и найдите вручную первые приближения. Проверьте условие окончания процесса вычислений.
3. Составьте программу уточнения корня с точностью до ε , которая выводила бы результаты в

n	x_n	y_n	E_n
...

таблицу

где x_n и y_n — приближения к корню, найденные методами хорд и касательных соответственно, E_n — расстояния между ними.

4. Найдите приближенный корень и выпишите его с верными значащими цифрами

Тема 3. Решение систем линейных алгебраических уравнений

Контрольные вопросы

1. Чем отличаются прямые методы от итерационных?
2. К какому виду приводится матрица коэффициентов в прямом ходе метода Гаусса?
3. В каком случае нельзя применить метод Гаусса?
4. В каком порядке определяются неизвестные в обратном ходе метода Гаусса?
5. Какой элемент является главным в столбце матрицы?
6. В чем состоит преимущество метода Гаусса с выбором главного элемента в столбце?
7. Что нужно предусмотреть при использовании метода Гаусса?
8. Каково условие прекращения итераций в итерационных методах?
9. Как проверить являются ли полученные корни истинными или ложными?
10. К какому виду приводится матрица в методе Гаусса-Жордана?
11. Нужен ли обратный ход в методе Гаусса-Жордана?
12. Для каких систем применяется метод прогонки?
13. С каким методом схож метод прогонки?
14. Что является определителем треугольной матрицы?
15. Основные достоинства метода Гаусса-Зейделя перед методом простых итераций?

Выполните письменные задания в тетради.

Метод простой итерации приближенного решения систем линейных алгебраических уравнений

Необходимые сведения из теории

1. Способы определения расстояния в пространстве R^n .
2. Абсолютная погрешность числового вектора и его координат.
3. Сходимость последовательности векторов в R^n .
4. Приведенная система уравнений, способы преобразования систем к приведенному виду.
5. Построение итерационной последовательности.
6. Достаточное условие сходимости итерационной последовательности.
7. Оценка погрешности приближенного решения.
8. Условие окончания итерационного процесса при нахождении решения с заданной точностью.

Задание

Дана система уравнений, коэффициенты при неизвестных и свободные члены которой являются точными числами. Найдите ее приближенное решение с точностью до $\epsilon = 0,5 \cdot 10^{-3}$.

Системы уравнений по вариантам

Исходная система:

$$\begin{cases} Mx_1 - 0.004x_2 + 0.21x_3 - 18x_4 = -1.24, \\ 0.25x_1 - 1.23x_2 + Nx_3 - 0.09x_4 = P, \\ -0.21x_1 + Nx_2 + 0.80x_3 - 0.13x_4 = 2.56, \\ 0.15x_1 - 0.31x_2 + 0.06x_3 + Px_4 = M \end{cases}$$

Вариант	M	N	P	Вариант	M	N	P
1	-0,77	0,16	1,12	9	-1,13	0,14	0,87
2	0,93	0,07	-0,84	10	0,91	-0,23	-1,04
3	-1,14	-0,17	0,95	11	-0,88	0,10	0,91
4	1,08	0,22	-1,16	12	1,25	-0,14	-1,09
5	0,87	-0,19	1,08	13	0,79	0,18	-0,86
6	-1,21	0,20	0,88	14	-1,19	-0,21	1,21
7	1,09	-0,16	0,84	15	0,89	0,12	-1,15
8	0,89	0,08	-1,21				

Порядок выполнения работы

1. Преобразуйте систему к приведенному виду с выполнением условия сходимости итерационной последовательности.
2. Взяв в качестве начального приближения вектор свободных членов приведенной системы, найдите вручную первое приближение, затем определите его абсолютную погрешность и проверьте условие окончания итерационного процесса.
3. Составьте программу вычисления приближений до достижения требуемой точности с выводом результатов в таблицу

k	x_1	x_2	x_3	x_4	E_k
...

где x_1, x_2, x_3, x_4 — координаты векторов-приближений, E_k — абсолютные погрешности этих векторов.

4. Найдите приближенное решение системы и выпишите его координаты с верными значащими цифрами.

Тема 4. Интерполирование и экстраполирование функций

Контрольные вопросы

1. Для чего применяется интерполирование?
2. Кто является основоположником интерполирования?
3. В чем состоит задача интерполирования функции?
4. Какая формула называется интерполяционной формулой Лагранжа?
5. Как находятся коэффициенты Лагранжа?
6. Какая погрешность получается при замене функции интерполяционным многочленом Лагранжа?
7. Сколько многочленов Лагранжа, удовлетворяющим поставленным условиям существует?
8. Какие узлы интерполяции называются равноотстоящими?
9. Что называется конечными разностями 1-го порядка? 2-го порядка? 3-го порядка? n-го порядка?
10. Какой многочлен называется интерполяционным многочленом Ньютона?
11. Что такое линейная и квадратичная интерполяции?
12. Что называется экстраполяцией функции вперед или назад?
13. В чем состоит задача обратного интерполирования?

Выполните письменные задания в тетради.

Интерполирование математических таблиц

Необходимые сведения из теории

1. Табличная функция.
2. Задача интерполирования табличной функции.
3. Теорема о единственности задачи полиномиального интерполирования.
4. Конечные разности таблиц.
5. Первый и второй интерполяционные многочлены Ньютона. Оценка погрешностей интерполяционных формул Ньютона.
6. Формула линейного интерполирования и способы оценки ее погрешности.
7. Обратное линейное интерполирование.

Задание

Дана таблица значений функции $f : f(x) = e^x - \sin x$ с верными цифрами:

x	f(x)	x	f(x)	x	f(x)	x	f(x)	X	f(x)
0	1	0,405	1,1024	0,80910	1,50821,6763	1,213	2,3881	1,61718	3,9536
01	1,0053	0,607	1,1693	1,1	1,87682,1130	1,415	2,7057	1,9	4,4823
02	1,0227		1,2575				3,0696		5,0758
03	1,0543		1,3695				3,4842		5,7396

1. Вычислите приближенное значение $f(a)$ с помощью первого интерполяционного многочлена Ньютона второй степени, определите его абсолютную погрешность и верные значащие цифры.

2. Линейным интерполированием найдите значения функции f для аргументов a , b и определите их верные значащие цифры с помощью таблицы конечных разностей.

3. Вычислите значения обратной для f функции φ для аргументов c , d по формуле обратного линейного интерполирования и запишите ответы с двумя цифрами после десятичной запятой.

Все исходные данные a , b , c , d считаются точными числами.

Данные по вариантам

Вариант	a	b	c	d
1	0,38	0,35	1,0059	2,3770
2	1,02	1,07	2,6456	1,9245
3	1,15	1,18	2,8775	1,2236
4	1,22	1,24	1,0023	1,3240
5	1,36	1,31	1,1232	1,1601
6	0,59	0,54	1,5222	2,2557
7	0,63	0,68	1,7092	3,3587
8	0,71	0,75	2,0988	1,0460
9	0,85	0,83	1,1847	2,9650
10	0,96	0,92	1,2775	1,0049
11	0,12	0,18	1,4892	1,3764
12	0,23	0,26	2,1232	1,6058
13	1,58	1,55	3,2323	1,8334
14	0,44	0,47	1,0323	2,4590
15	0,06	0,02	1,0974	1,0608

Порядок выполнения работы указан в задании

Тема 5. Численное интегрирование

Контрольные вопросы

1. Определенный интеграл и его свойства
2. Какой зависимостью связан шаг интегрирования с количеством интервалов?
3. Возможно ли получение точного значения результата методом трапеций для линейной подынтегральной функции?
4. Может ли значение интеграла получиться отрицательным числом
5. Чему равен шаг при вычислении интеграла с заданной точностью?

Выполните письменные задания в тетради.

Приближенное вычисление определенных интегралов

1. Численный метод приближенного вычисления определенных интегралов.
2. Квадратурные формулы трапеций и Симпсона.

3. Строгая оценка погрешностей этих формул.
4. Оценка погрешностей методом двойного пересчета.
5. Определение шага разбиения отрезка интегрирования, при котором квадратурная формула обеспечивает заданную точность.
6. Вопросы оценки точности приближенного интеграла с учетом вычислительных погрешностей.

Задание

1. Вычислите данный интеграл вручную по формуле трапеций при $n = 3$ и $n = 6$. Оцените погрешность приближения $J_6^{(T)}$ методом двойного пересчета, а затем найдите абсолютную погрешность этого же приближения по формуле строгой оценки погрешностей.

2. Вычислите данный интеграл по формуле Симпсона с точностью до

$$\varepsilon = 0,5 * 10^{-4}$$

3. Вычислите интеграл по формуле Ньютона-Лейбница с максимальной точностью, которая возможна при используемых вычислительных средствах.

4. Сравните полученные разными способами результаты по их точности.

Интегралы по вариантам

Вариант	Интеграл	Вариант	Интеграл
1	$\int_0^{\pi/2} \cos(1-2x) dx$	3	$\int_0^2 e^{2x} dx$
2	$\int_0^{1.5} \cos x dx$	4	$\int_{\pi/6}^{\pi/2} \cos 3x dx$
7	$\int_0^2 \sqrt{1+x} dx$	10	$\int_0^2 \sin(x+1) dx$
8	$\int_{-1}^1 (3x + \cos x) dx$	11	$\int_0^{1.5} (1+x+x^4) dx$
9	$\int_{-1}^2 e^{x/2} dx$	12	$\int_0^3 e^{-3x} dx$

Порядок выполнения работы указан в задании. При вычислениях по формуле Симпсона сначала надо определить число n , при котором формула обеспечивает точность ε , затем составить программу реализации формулы и с ее помощью найти $J_n^{(c)}$. Для того чтобы не учитывать вычислительные погрешности, шаг разбиения и значения функций следует брать с двумя запасными цифрами.

Тема 6. Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений.

Контрольные вопросы

1. Разностная схема метода Эйлера, определение погрешности этого метода. Каков порядок точности метода Эйлера?
2. Алгоритм метода Рунге-Кутты.
3. Перечислите частные случаи граничных условий.
4. Итерационная формула метода Ньютона
5. В чем состоит сущность метода суперпозиции. Реализация этого метода (пошагово).
6. Суть метода прогонки
7. Суть метода конечных разностей. Порядок точности этого метода.

Выполните письменные задания в тетради.

Численное решение обыкновенных дифференциальных уравнений методом Эйлера – Коши

1. Общее и частное решения обыкновенного дифференциального уравнения 1-го порядка. Интегральные кривые.
2. Задача Коши. Теорема Пикара.
3. Геометрический смысл правой части дифференциального уравнения, разрешенного относительно производной.
4. Понятие численного решения. Ломаная Эйлера.
5. Метод Эйлера-Коши, его геометрический смысл.
6. Оценка погрешности численного решения методом двойного пересчета.

Вариан	Уравнение	x_0	y_0	$[a; \theta]$
1	$y' = x + y$	0	0,8	[0;1]
2	$y' = x + \cos y$	1,8	2	[1.8;2.8]
3	$y' = e^x + y$	0	1,2	[0;1]
4	$y' = xy + \sin x$	0	2	[0;1]
5	$y' = x + 3\sin y/3$	1,6	2	[1.6;2.6]
6	$y' = e^{x+y}$	0	-1	[0;1]
7	$y' = xy + e^x$	-1	0,5	[-1;0]
8	$y' = x + y^2$	-2	0	[-2;-1]
9	$y' = \sin(x-y)$	1	3	[1;2]
10	$y' = \cos(x+y)$	2	0	[2;3]
11	$y' = y + \cos x$	2	0	[2;3]

12	$y'=x^2+y$	1	0	[1;2]
13	$y'=x+e^x$	1	-1	[1;2]
14	$y'=x+\sin y$	1,5	3	[1.5;2.5]
15	$y'=x^2+y^2$	0	0	[0;1]

Используя метод Эйлера-Коши, найдите численное решение дифференциального уравнения на отрезке $[a; b]$ с шагом $h = 0,1$, удовлетворяющее начальному условию $y(x_0) = y_0$ (в таблицу проставлять улучшенные значения y_i , найденные двукратными вычислениями с шагом $h/2 = 0,05$). Оцените погрешности чисел y_i методом двойного пересчета и определите верные значащие цифры этих чисел. Начертите ломаную Эйлера.

Уравнения по вариантам

1. Убедитесь в существовании и единственности решения поставленной задачи Коши.
2. Вычислите вручную y_i и оцените его погрешность.
3. Составьте программу вывода таблицы

x_i	y_i	y_i	E_i
...

где y_i — приближение к значению точного решения в точке x_i , найденное однократным вычислением по методу Эйлера- Коши (с шагом $h = 0,1$), E_i — оценка погрешности значения y_i

4. Получите искомое численное решение, выписывая табличные значения с верными значащими цифрами.
5. Постройте соответствующую ломаную Эйлера.

Перечень учебных изданий, Интернет-ресурсов, дополнительной литературы

Основная литература

1. Зенков, А. В. Численные методы : учебное пособие для среднего профессионального образования / А. В. Зенков. - Москва : Юрайт, 2022. - 122 с. - (Профессиональное образование). - URL: <https://ezpro.fa.ru:3217/bcode/491711> (дата обращения: 17.03.2022).. - Режим доступа:
2. Колдаев, В. Д. Численные методы и программирование : учебное пособие / В. Д. Колдаев ; под ред. Л. Г. Гагариной. - Москва : ФОРУМ : ИНФРА-М, 2021. - 336 с. - (Среднее профессиональное образование). - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1173632> (дата обращения: 24.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Znanium.com, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-8199-0779-5. - Текст : электронный.
3. Численные методы : учебник и практикум для среднего профессионального образования / У. Г. Пирумов [и др.] ; под редакцией У. Г. Пирумова. - 5-е изд., перераб. и доп. - Москва : Юрайт, 2022. - 421 с. - (Профессиональное образование). - URL: <https://ezpro.fa.ru:3217/bcode/495974> (дата обращения: 17.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Юрайт, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-534-11634-2. - Текст : электронный.пользователей.электронный.

Дополнительные источники

1. Балдин, К. В. Математическое программирование : учебник / К. В. Балдин, Н. А. Брызгалов, А. В. Рукосуев. - 2-е изд. - Москва : Дашков и К, 2018. - 218 с. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/415097> (дата обращения: 17.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Znanium.com, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-394-01457-4. - Текст : электронный.
2. Гулин, А. В. Введение в численные методы в задачах и упражнениях : учебное пособие / А. В. Гулин, О. С. Мажорова, В. А. Морозова. - Москва : АРГАМАК-МЕДИА : ИНФРА-М, 2022. - 368 с. - (Прикладная математика, информатика, информ. технологии). - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1852192> (дата обращения: 17.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Znanium.com, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-16-012876-4. - Текст : электронный.
3. Маничев, В. Б. Численные методы. Достоверное и точное численное решение дифференциальных и алгебраических уравнений в САЕ-системах САПР : учебное пособие / В. Б. Маничев, В. В. Глазкова, И. А. Кузьмина. - Москва : ИНФРА-М, 2019. - 152 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - URL: <https://znanium.com/catalog/product/980116> (дата обращения: 17.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Znanium.com, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-16-010366-2. - Текст : электронный.
4. Пантелеев, А. В. Численные методы. Практикум : учебное пособие / А. В. Пантелеев, И. А. Кудрявцева. - Москва : ИНФРА-М, 2020. - 512 с. - (Высшее образование: Бакалавриат). - URL: <https://znanium.com/catalog/product/1028969> (дата обращения: 24.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Znanium.com, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-16-012333-2. - Текст : электронный.
5. Семакин, И. Г. Программирование, численные методы и математическое моделирование : учебное пособие / Семакин И. Г., Русакова О. Л., Тарунин Е. Л. и др. - Москва : КноРус, 2021. - 298 с. - URL: <https://old.book.ru/book/940464> (дата обращения: 17.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Book.ru, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-406-08626-1. - Текст : электронный
6. Шевченко, А. С. Лабораторный практикум по численным методам: Практикум / Шевченко А. С. - Москва : НИЦ ИНФРА-М, 2018. - 199 с. (Высшее образование). - URL: <https://znanium.com/catalog/product/966104> (дата обращения: 17.03.2022). - Режим доступа: ЭБС Znanium.com, для зарегистрир. пользователей. - ISBN 978-5-16-106606-5. - Текст : электронный.

Электронные ресурсы

1. <http://www.mathematics.ru> (Математика в Открытом колледже)
2. <http://www.allmath.ru> (Вся математика в одном месте)
3. <http://mathem.ru> (Математика on-line)
4. www.math.ru (Библиотека математической литературы)
5. www.fcior.edu.ru (Информационные, тренировочные и контрольные материалы)
6. www.school-collection.edu.ru (Единая коллекции цифровых образовательных ресурсов).