

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Смоленский государственный университет»

Кафедра прикладной математики и информатики

«Утверждаю»
Проректор по учебно-методической работе
Ю.А. Устименко
«09» сентября 2021 г.

Рабочая программа дисциплины
Б1.О.20 Теория оптимизации и численные методы

Направление подготовки: **11.03.01 Радиотехника**
Направленность (профиль): **Радиоэлектронные системы и комплексы**
Форма обучения: очная
Курс – 2
Семестр – 3
Всего зачетных единиц – 3; часов – 108
Форма отчетности: зачет – 3 семестр.

Программу разработал: кандидат физико-математических наук, доцент
Кристалинский В.Р.

Одобрена на заседании кафедры
«02» сентября 2021 г., протокол № 1

Смоленск
2021

1. Место дисциплины в структуре ОП

Дисциплина «Теория оптимизации и численные методы» включена в обязательную часть образовательной программы по направлению подготовки 11.03.01 Радиотехника (направленность (профиль) – Радиоэлектронные системы и комплексы).

При изучении данной дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся при изучении таких дисциплин, как «Математический анализ», «Линейная алгебра» и др. Курс построен так, чтобы углубить и расширить объем знаний обучающихся по разделам, связанным с применением численных методов для решения практических задач.

Изучение данного курса необходимо для последующего успешного освоения профильных дисциплин, прохождения производственной практики и выполнения выпускной квалификационной работы.

2. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Компетенция	Индикаторы достижения
ОПК-2. Способен самостоятельно проводить экспериментальные исследования и использовать основные приемы обработки и представления полученных данных	Знать: основные методы и средства проведения экспериментальных исследований, приемы обработки и представления полученных данных. Уметь: выбирать способы и средства измерений, проводить экспериментальные исследования; находить и критически анализировать информацию, необходимую для решения поставленной задачи; разрабатывать решение конкретной задачи, выбирая оптимальный вариант, оценивая его достоинства и недостатки. Владеть: способами обработки и представления полученных данных, оценки погрешностей результатов измерений.

3. Содержание дисциплины

Раздел 1. Основы теории оптимизации

1. Элементы выпуклого анализа. Евклидово пространство. Выпуклые множества. Проекция точки на множество. Теоремы отделимости. Выпуклые и вогнутые функции. Дифференцируемость по направлению. Непрерывность. Выпуклые дифференцируемые функции. Множества с вогнутыми ограничениями. Некоторые экстремальные свойства функций на выпуклых множествах. Сильная выпуклость функций.

2. Математическое программирование. Основы выпуклого программирования. Теория линейного программирования. Численные методы математического программирования.

3. Элементы вариационного исчисления. Функционал. Дифференцируемость функционала. Экстремумы функционалов. Простейшая задача вариационного исчисления. Экстремумы функционалов от вектор-функций. Экстремумы функционалов, содержащих производные высших порядков. Экстремумы функционалов, зависящих от функции двух переменных.

4. Оптимальное управление. Постановка задачи оптимального управления. Принцип максимума Понтрягина.

Раздел 2. Численные методы.

1. Методы решения скалярных уравнений и их систем. Аналитический и графический методы локализации корней. Уточнение корней методами половинного деления, золотого сечения, итераций, хорд, касательных (Ньютона), секущих. Методы итераций и Ньютона решения систем уравнений.

2. Вычислительные методы линейной алгебры. Норма вектора и матрицы. Решение систем линейных алгебраических уравнений прямыми методами (Гаусса, Крамера, обратной матрицы, LU -разложения). Решение систем линейных алгебраических уравнений приближенными методами (простых итераций, Ньютона).

3. Численные методы поиска экстремума функции. Поиск экстремума функции одной переменной методами дихотомии. Градиентные методы поиска экстремума функции нескольких переменных.

4. Приближение функций. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Остаточный член интерполяционной формулы Лагранжа. Равномерное приближение функций, многочлены Чебышева. Интерполяция сплайнами. Аппроксимация. Метод наименьших квадратов. Многочлены наилучшего среднеквадратического приближения.

5. Численное интегрирование. Квадратурные формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона. Метод Монте-Карло.

6. Численное дифференцирование. Графическое дифференцирование. Разностные формулы. Разностные формулы для обыкновенных производных. Разностные формулы для частных производных. Вычисление производных с помощью интерполяционных формул с равномерным и неравномерным распределением узлов. Практическая оценка погрешности.

7. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем. Задача Коши. Методы Рунге, Эйлера, Рунге-Кутты. Задача Коши для системы дифференциальных уравнений и уравнений высших порядков. Метод степенных рядов. Краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений.

8. Уравнения в частных производных. Метод Фурье. Разностные схемы решения задач математической физики.

9. Интегральные уравнения. Интегральные уравнения Фредгольма и Вольтерра. Методы решения уравнений с вырожденными ядрами. Квадратурные способы решения интегральных уравнений.

4. Тематический план

№ п/п	Разделы и темы	Всего часов	Формы занятий		
			Лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1.	Основы теории оптимизации	40	6	14	20
1.1	Элементы выпуклого анализа	11	2	4	5
1.2	Математическое программирование	9	2	2	5
1.3	Элементы вариационного исчисления	10	1	4	5
1.4	Оптимальное управление	10	1	4	5
2.	Численные методы	68	10	18	40
2.1	Методы решения скалярных уравнений и их систем	8	2	2	4
2.2	Вычислительные методы линейной алгебры	8	2	2	4
2.3	Численные методы поиска экстремума функции	7	1	2	4
2.4	Приближение функций	7	1	2	4
2.5	Численное интегрирование	9	1	2	6
2.6	Численное дифференцирование	9	1	2	6
2.7	Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем	7	1	2	4
2.8	Уравнения в частных производных	7	1	2	4
2.9	Интегральные уравнения	6	–	2	4
Итого		108	16	32	60

5. Виды учебной деятельности

Занятия лекционного типа

Лекция № 1. Элементы выпуклого анализа

1. Евклидово пространство. Выпуклые множества. Проекция точки на множество.
2. Теоремы отделимости. Выпуклые и вогнутые функции. Дифференцируемость по направлению. Непрерывность.
3. Выпуклые дифференцируемые функции. Множества с вогнутыми ограничениями.
4. Некоторые экстремальные свойства функций на выпуклых множествах.
5. Сильная выпуклость функций.
6. Основы выпуклого программирования

Лекция № 2. Математическое программирование

1. Основная задача линейного программирования.
2. Теоремы линейного программирования.
3. Численные методы математического программирования. Функционал.
4. Дифференцируемость функционала.
5. Экстремумы функционалов.

Лекция № 3. Элементы вариационного исчисления. Оптимальное управление

1. Простейшая задача вариационного исчисления.
2. Экстремумы функционалов от вектор-функций. Экстремумы функционалов, содержащих производные высших порядков.
3. Экстремумы функционалов, зависящих от функции двух переменных.
4. Фазовые параметры и управление.
5. Математическая постановка задачи оптимального управления.
6. Принцип максимума Понтрягина.

Лекция № 4. Методы решения скалярных уравнений и их систем.

1. Аналитический и графический методы локализации корней.
2. Уточнение корней методами половинного деления, золотого сечения, итераций, хорд, касательных (Ньютона), секущих.
3. Методы итераций и Ньютона решения систем уравнений.

Лекция №5. Вычислительные методы линейной алгебры

1. Норма вектора и матрицы.
2. Решение систем линейных алгебраических уравнений прямыми методами (Гаусса, Крамера, обратной матрицы, LU -разложения).
3. Решение систем линейных алгебраических уравнений приближенными методами (простых итераций, Ньютона).

Лекция №6. Численные методы поиска экстремума функции. Приближение функций

1. Поиск экстремума функции одной переменной методами дихотомии.
2. Градиентные методы поиска экстремума функции нескольких переменных.
3. Интерполяционный многочлен Лагранжа. Остаточный член интерполяционной формулы Лагранжа.
4. Равномерное приближение функций, многочлены Чебышева.
5. Интерполяция сплайнами.
6. Аппроксимация.
7. Метод наименьших квадратов. Многочлены наилучшего среднеквадратического приближения.

Лекция №7. Численное интегрирование. Численное дифференцирование

1. Квадратурные формулы прямоугольников, трапеций, Симпсона.

2. Метод Монте-Карло.
3. Графическое дифференцирование.
4. Разностные формулы. Разностные формулы для обыкновенных производных. Разностные формулы для частных производных.
5. Вычисление производных с помощью интерполяционных формул с равномерным и неравномерным распределением узлов.
6. Практическая оценка погрешности.

Лекция №8. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем. Уравнения в частных производных

1. Задача Коши.
2. Методы Рунге, Эйлера, Рунге-Кутты.
3. Задача Коши для системы дифференциальных уравнений и уравнений высших порядков.
4. Метод степенных рядов.
5. Краевые задачи для обыкновенных дифференциальных уравнений.
6. Метод Фурье. Разностные схемы решения задач математической физики.

Занятия семинарского типа

Практическое занятие №1,2. Элементы выпуклого анализа

Задания:

1. Определить точки локального экстремума функции двух переменных $F=x^4+y^4-x^2-2y^2$.
2. Определить оптимальные точки функции двух переменных $F=x^4+y^4-x^2-2y^2$, $x \geq 0$, $x^2+y^2 \leq 1/2$.
3. Определить точки локального экстремума функции трех переменных $F=-x^2-y^2-z^3-x+yx+2y$

Практическое занятие №3. Математическое программирование

1. Решить основную задачу линейного программирования графическим и аналитическим методом:

$$F=260x_1+300x_2, \quad -1200+16x_1+12x_2 < 0, \quad -39+0.2x_1-0.4x_2 < 0, \quad -600+6x_1+5x_2 < 0, \\ 300+3x_1+4x_2 < 0, \quad x_1 > 0, \quad x_2 > 0;$$

$$F=-x_1+x_2, \quad -x_1+x_2-2 < 0, \quad 2-x_1-2x_2 < 0, \quad x_1-2x_2-4 < 0, \quad x_1 > 0, \quad x_2 > 0.$$

Практическое занятие №4,5. Элементы вариационного исчисления

1. Симплекс-метод:
 $F=260x_1+300x_2, \quad -1200+16x_1+12x_2 < 0, \quad -39+0.2x_1-0.4x_2 < 0, \quad -600+6x_1+5x_2 < 0, \\ 300+3x_1+4x_2 < 0, \quad x_1 > 0, \quad x_2 > 0.$
 $F=-x_1+x_2, \quad -x_1+x_2-2 < 0, \quad 2-x_1-2x_2 < 0, \quad x_1-2x_2-4 < 0, \quad x_1 > 0, \quad x_2 > 0.$
2. Метод градиентного спуска:
 $F=2x_1^2+x_1x_2+x_2^2.$

Практическое занятие № 6,7. Оптимальное управление

1. Решить задачу методом покоординатного спуска:
 $F=3x_1^2-2x_1x_2+x_2^2$
2. Решить задачу методом штрафов:
 $F=x_1^2+x_2^2, \quad x_1-1 < 0, \quad x_1+x_2-2 < 0.$

Практическое занятие №8. Методы решения скалярных уравнений и их систем

1. Какие методы локализации корней Вы знаете? Приведите примеры.
2. Сформулируйте основные теоремы аналитической локализации корней.
3. Отделите корни уравнения $x^2 e^x = \pi$.
4. В чем состоят методы дихотомии?

5. Сформулируйте алгоритм метода половинного деления. Как оценивается абсолютная погрешность приближенного значения корня?
6. Сформулируйте алгоритм метода хорд. Каков критерий завершения алгоритма?
7. Каков геометрический смысл метода хорд решения уравнения $f(x) = 0$?

Практическое занятие №9. Вычислительные методы линейной алгебры

1. Приведите примеры прямых методов решения систем линейных уравнений.
2. Разложите матрицу

$$A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$$

в произведение нижней и верхней треугольных матриц.

3. Как определяется норма вектора x в линейном пространстве R^n ? Найдите норму вектора $x = (1, -1, 2)$.
4. Каким образом определяется согласованная норма матрицы A в линейном пространстве квадратных матриц порядка n ?
5. Найдите норму матрицы $A = \begin{pmatrix} 1 & 2 \\ 3 & 4 \end{pmatrix}$.
6. В чем состоит метод последовательных приближений решения систем линейных уравнений?
7. Сформулируйте достаточные условия сходимости метода итераций решения системы линейных уравнений $X = CX + D$. Приведите примеры.
8. Как оценивается абсолютная погрешность приближенного решения системы методом итераций?

Практическое занятие №10. Численные методы поиска экстремума функции

1. Какие классические методы нахождения экстремума функций одной переменной Вам известны?
2. Сформулируйте общую схему нахождения экстремума функций одной переменной при помощи численных методов.
3. Каким образом задача отыскания максимум функции сводится к отысканию минимума? Приведите примеры.
4. Опишите алгоритм метода равномерного приближения поиска экстремума функции. Каков критерий остановки алгоритма?
5. В чем состоит метод квадратичной интерполяции. Как применяется этот метод к решению задач нахождения экстремума функций одной переменной?
6. Каков критерий остановки метода квадратичной интерполяции?
7. Сформулируйте алгоритм метода золотого сечения. Каков критерий остановки алгоритма?

Практическое занятие №11. Приближение функций

1. В чем состоит задача интерполяции?
2. Какие способы интерполяции Вам известны? Приведите примеры.
3. Какова задача полиномиальной интерполяции?
4. Что такое базовый многочлен Лагранжа?
5. Каким образом строится интерполяционный многочлен Лагранжа?
6. Сформулируйте теорему о существовании и единственности многочлена Лагранжа.
7. Какова максимальная величина погрешности интерполирования на заданном отрезке $[a; b]$?
8. Для функции $y = f(x)$, заданной таблицей

x	1	2	3
y	-1	0	1

выполните кусочно-линейное интерполирование.

9. Докажите тождество

$$\frac{(x-a)(x-b)}{(c-b)(c-b)} + \frac{(x-a)(x-c)}{(b-a)(b-c)} + \frac{(x-b)(x-c)}{(a-b)(a-c)} = x^2.$$

10. Решите уравнение

$$x^3 - (a+b+c)x^2 + (ab+ac+bc)x - abc = 0.$$

Практическое занятие №12. Численное интегрирование

1. В чем состоят методы приближенного вычисления определенных интегралов?
2. Выведите формулу средней точки для приближенного вычисления определенного интеграла.

3. Как оценивается абсолютная погрешность вычислений по формуле средней точки?

4. Сколько элементарных промежутков нужно взять, чтобы вычислить $\int_1^2 \ln x dx$ с

точностью $\varepsilon = 0,001$?

5. Какова формула трапеций для приближенного вычисления определенного интеграла?

6. Какова формула абсолютной погрешности формулы трапеций?

7. Приведите формулу Симпсона для приближенного вычисления определенного интеграла?

8. Как оценивается абсолютная погрешность вычислений по формуле Симпсона?

9. Оцените точность, которую можно гарантировать при вычислении интеграла

$\int_0^1 e^{-x^2} dx$ по формулам трапеций и Симпсона при разбиении промежутка интегрирования на 8 частей.

10. В чем состоит метод Монте-Карло вычисления приближенного значения интегралов и площадей фигур?

Практическое занятие №13. Численное дифференцирование

1. Выведите простейшие формулы численного дифференцирования.

2. Как оцениваются абсолютные погрешности простейших формул численного дифференцирования?

3. Как применяется полиномиальная интерполяция для приближения производных функций? Приведите примеры.

4. Запишите формулы приближенного значения производных первого и второго порядка для трех узлов и выведите их остаточный член, используя формулу Тейлора.

Практическое занятие №14. Численные методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений и их систем

1. В чем состоит метод степенных рядов решения задачи Коши для обыкновенных дифференциальных уравнений?

2. Последовательным дифференцированием уравнения $y' = xy + 1$ найдите его приближенное частное решение, соответствующее начальному условию $y(0) = 0$, в виде отрезка степенного ряда до пятой степени включительно.

3. Сформулируйте теорему Пикара о существовании и единственности задачи Коши для обыкновенного дифференциального уравнения первого порядка.

4. Как задается процесс вычислений по методу Эйлера?

5. В чем состоит геометрический смысл метода Эйлера?
6. Как задается процесс вычислений по методу Рунге-Кутты?
7. Как задается нормальная система обыкновенных дифференциальных уравнений в векторно-матричном виде? Приведите примеры.
8. Задайте процесс вычислений по методу Эйлера для системы обыкновенных дифференциальных уравнений первого порядка.
9. Каким образом можно свести уравнения высших порядков к нормальной системе уравнений первого порядка? Приведите примеры.

Практическое занятие №15. Уравнения в частных производных

1. Дайте определение линейного дифференциального уравнения с частными производными второго порядка.
2. Какова классификация линейных дифференциальных уравнений с частными производными второго порядка? Приведите примеры.
3. Приведите примеры основных уравнений математической физики.
4. Какие процессы описываются с помощью уравнений параболического типа?
5. Сформулируйте задачу о теплопроводности стержня, ограниченного с обоих концов.
6. Какие процессы описываются с помощью уравнений гиперболического типа?
7. Сформулируйте задачу о колебании конечной струны.
8. Какие процессы описываются с помощью уравнений эллиптического типа?
9. Сформулируйте задачу Дирихле для уравнения Пуассона.
10. Опишите идею метода сеток для решения задач математической физики. Приведите примеры.
11. Какие шаблоны разностных схем Вам известны?
12. В чем состоит метод фиктивной точки?

Практическое занятие №16. Интегральные уравнения

1. Сформулируйте определение интегрального уравнения. Приведите примеры.
2. Дайте определение интегрального уравнения Фредгольма первого и второго рода. Приведите примеры.
3. В какой области определено ядро интегрального уравнения Фредгольма?
4. В каком случае ядро интегрального уравнения Фредгольма называется вырожденным? Приведите примеры.
5. В чем состоит метод решения интегральных уравнений Фредгольма с вырожденным ядром?
6. Каким образом можно привести интегральное уравнение $x(t) = \int_0^{\frac{1}{2}} t \sin(ts) x(s) ds + \cos \frac{1}{2} t$ к уравнению с вырожденным ядром?
7. Как применяется метод последовательных приближений к приближенному решению интегрального уравнения Фредгольма второго рода?
8. Сформулируйте определение интегрального уравнения Вольтерра первого и второго рода. Приведите примеры.
9. В какой области определено ядро интегрального уравнения Вольтерра?
10. Каким образом можно привести уравнение Вольтерра к уравнению Фредгольма?
11. В чем состоят квадратурные методы решения интегральных уравнений?

Самостоятельная работа

Темы для самостоятельного изучения

1. Элементы выпуклого анализа. Примеры Евклидовых пространств. Примеры выпуклых множеств. Проекция точки на множество. Примеры выпуклых и вогнутых

функций. Дифференцируемость по направлению. Непрерывность. Выпуклые дифференцируемые функции. Множества с вогнутыми ограничениями.

2. Математическое программирование. Функция Лагранжа. Условия оптимальности. Задача с линейными ограничениями. Двойственность в теории линейного программирования.

3. Элементы вариационного исчисления. Задачи на экстремумы функционалов от вектор-функций, экстремумы функционалов, содержащих производные высших порядков, экстремумы функционалов, зависящих от функции двух переменных.

4. Оптимальное управление. Постановка задачи оптимального управления. Применение принципа максимума Понтрягина.

5. Понятие математической модели и процесс решения прикладных задач.

6. Источники и классификация погрешностей.

7. Элементы теории погрешностей: абсолютная и относительная погрешности приближенных вычислений; значащие цифры; правило округления чисел; погрешности арифметических операций; погрешность произвольной функции.

8. Представление чисел в компьютере и погрешность.

6. Критерии оценивания результатов освоения дисциплины

6.1. Оценочные средства и критерии оценивания для текущей аттестации

1. Подготовка конспекта по вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение (перечень вопросов курса, выносимых на самостоятельное изучение, приведен в разделе «Самостоятельная работа»).

Критерии оценивания конспектов по прикладным вопросам курса, выносимым на самостоятельное изучение

Показатель	Количество баллов
1) Полнота и глубина изложения ответа (усвоенные теории, понятия, факты)	1
2) Логика изложения материала	1
3) Примеры использования описанных явлений, теорий и устройств на практике	1
4) Использование при подготовке ответа на вопрос дополнительных источников информации	1
5) Оформление работы	1
Итоговая (суммарная) оценка	Max - 5

Оценка «зачтено» - 3 балла и более; оценка «не зачтено» - менее 3 баллов.

2. Контрольная работа

Образец контрольной работы

Найдите корни уравнения $4x + \ln^2 x - 4\sqrt{1+x} - 5 = 0$ с точностью $\varepsilon = 10^{-3}$:

а) методом половинного деления;

б) методом золотого сечения;

в) методом хорд.

Сравните полученные результаты.

Критерии оценивания контрольной работы

1. Нормы оценивания работы

№ п/п	Структурная часть контрольной работы	Количество баллов (*)
1	Правильно реализован каждый метод решения	1 балл
2	Анализ результатов	2 балла

(*) Возможна градация в 0,25 балла.

2. Шкала оценивания работы:

п/п	Оценка	Количество баллов
1	Отлично	4,75-5
2	Хорошо	3,75-4,5
3	Удовлетворительно	3-3,5
4	Неудовлетворительно	менее 3

6.2. Оценочные средства и критерии оценивания для промежуточной аттестации

Критерии получения зачета:

Зачтено – студент имеет оценки не ниже «удовлетворительно» по результатам работы на практических занятиях, по результатам выполнения заданий для самостоятельной работы, по результатам текущего контроля в течение семестра; итоговая контрольная работа написана на оценку не ниже, чем удовлетворительно.

Не зачтено - студент имеет оценки «неудовлетворительно» по результатам работы на практических занятиях или по результатам выполнения заданий для самостоятельной работы или по результатам текущего контроля в течение семестра; итоговая контрольная работа написана на оценку неудовлетворительно.

7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

7.1. Основная литература

1) Сухарев А.Г. Численные методы оптимизации: учебник и практикум для вузов / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров. – М.: Издательство Юрайт, 2021. – 367 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/487195>.

2) Сухарев А.Г. Методы оптимизации: учебник и практикум для бакалавриата и магистратуры / А.Г. Сухарев, А.В. Тимохов, В.В. Федоров. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 367 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/444155>.

3) Численные методы: учебник и практикум для вузов / У.Г. Пирумов [и др.]; под редакцией У.Г. Пирумова. – М.: Издательство Юрайт, 2021. – 421 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/468650>.

7.2 Дополнительная литература

1) Зенков А.В. Численные методы: учебное пособие для вузов / А.В. Зенков. – М.: Издательство Юрайт, 2021. – 122 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/471508>.

2) Пименов В.Г. Численные методы в 2 ч.: учебное пособие для вузов / В.Г. Пименов, А.Б. Ложников. – М.: Издательство Юрайт, 2021. – 107 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/472934>.

3) Пименов В.Г. Численные методы решения уравнений с наследственностью: учебное пособие для вузов / В.Г. Пименов; под научной редакцией А.Б. Ложникова. – М.: Издательство Юрайт, 2021; Екатеринбург: Издательство Уральского университета. — 134 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/472302>.

4) Зализняк В.Е. Численные методы. Основы научных вычислений: учебник и практикум для вузов / В.Е. Зализняк. – М.: Издательство Юрайт, 2020. – 356 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/449891>.

5) Гателюк О.В. Численные методы: учебное пособие для вузов / О.В. Гателюк, Ш.К. Исмаилов, Н.В. Манюкова. – М.: Издательство Юрайт, 2021. – 140 с. – Текст: электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]. – URL: <https://urait.ru/bcode/471739>.

7.3. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»

1. Википедия (<http://www.wikipedia.ru>).
2. Российская Государственная Библиотека: <http://www.rsl.ru/>.
3. Научная электронная библиотека: <http://elibrary.ru/>.
4. Университетская информационная система «Россия»: <http://uisrussia.msu.ru>

8. Материально-техническое обеспечение

Учебная аудитория для проведения занятий лекционного типа, оснащенная стандартной учебной мебелью, настенной доской, настенным экраном, мультимедиапроектором, ноутбуком и комплектом колонок.

Учебная аудитория для проведения занятий семинарского типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации, оснащенная стандартной учебной мебелью, мультимедиапроектором, экраном, ноутбуком и комплектом колонок.

Помещение для самостоятельной работы – компьютерный класс с доступом к сети «Интернет» и ЭИОС СмолГУ.

9. Программное обеспечение

Microsoft Open License (Windows XP, 7, 8, 10, Server, Office 2003-2016), лицензия 66975477 от 03.06.2016 (бессрочно).

Обучающимся обеспечен доступ к ЭБС «Юрайт», а также доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

ДОКУМЕНТ ПОДПИСАН
ЭЛЕКТРОННОЙ ПОДПИСЬЮ

Сертификат: 03B6A3C600B7ADA9B742A1E041DE7D81B0
Владелец: Артеменков Михаил Николаевич
Действителен: с 04.10.2021 до 07.10.2022