

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

Томский государственный университет систем управления и
радиоэлектроники (ТУСУР)

Факультет систем управления (ФСУ)
Кафедра автоматизированных систем управления (АСУ)

А.А. Мицель

ЭВРИСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Методические указания по выполнению самостоятельной работы
студентов для специальности

09.04.01 «Информатика и вычислительная техника»

Уровень – магистратура

Томск-2022

Мицель А.А.

Эвристические методы оптимизации: методические указания по выполнению самостоятельной работы студентов для специальности 09.04.01 «Информатика и вычислительная техника» / А.А. Мицель. – Томск: ТУСУР, 2022 (электр. ресурс). – 15с.

Составитель: д.т.н., профессор каф. АСУ А.А. Мицель

Методические указания утверждены на заседании кафедры автоматизированных систем управления № 11 от “14” октября 2021

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
1. Цели и задачи дисциплины и ее место в учебном процессе	4
2. Место дисциплины в структуре ооп	4
3. Требования к результатам освоения дисциплины	4
5. Содержание дисциплины	5
6. Лабораторные работы	6
7. Темы рефератов	6
8. Вопросы для контроля знаний студентов	6
9. Практические задания для лабораторных работ	9
9.1 Практическое задание для лабораторной работы №1	9
9.2 Практическое задание для лабораторной работы №2	9
9.2.1 Варианты заданий	10
9.3 Практическое задание для лабораторной работы №3	11
9.3.1 Варианты заданий	11
9.4 Практическое задание для лабораторной работы №4	12
9.4.1 Варианты заданий	12
9.5 Практическое задание для лабораторной работы №5	13
9.5.1 Варианты заданий	13
10. Учебно-методические материалы по дисциплине	15

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ И ЕЕ МЕСТО В УЧЕБНОМ ПРОЦЕССЕ

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины Целью курса является освоение основных идей эволюционных методов оптимизации, особенностей областей применения и методики использования их как готового инструмента в практической работе при решении задач одномерной и многомерной оптимизации. Целью преподавания данной дисциплины является формирование у студентов теоретических знаний и практических навыков по вопросам оптимизации с помощью генетических алгоритмов; поиска управленческих решений; освоение студентами современных математических методов решения задач оптимизации.

Основными задачами дисциплины являются:

- Изучение эволюционных методов оптимизации.
- Изучение генетических алгоритмов поиска минимума функции одной переменной.
- Изучение генетических алгоритмов поиска минимума функции многих переменных.
- Формирование у студентов знаний и умений, необходимых для эффективного управления техническими, организационными и экономическими системами.

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП

Дисциплина относится к числу обязательных дисциплин учебного плана (Б1.О.01).

Курс «Эвристические методы оптимизации» относится к числу дисциплин Блока 1 (дисциплины) (обязательная часть), читается в первом семестре. Эта дисциплина нацелена на изучение современных методов решения оптимизационных задач, поэтому успешное овладение дисциплиной предполагает предварительные знания основных разделов дисциплины «Методы оптимизации», изучаемых в рамках бакалавриата. Лабораторные работы выполняются с помощью пакета прикладных программ Mathcad.

Предшествующие дисциплины: нет.

Последующие дисциплины: дисциплина является базовой для проведения научно-исследовательской работы, написания диссертации.

3. ТРЕБОВАНИЯ К РЕЗУЛЬТАТАМ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Процесс изучения дисциплины «Методы оптимизации» направлен на формирование следующих компетенций:

общепрофессиональные компетенции (ОПК):

- способен самостоятельно приобретать, развивать и применять математические, естественнонаучные, социально-экономические и профессиональные знания для решения нестандартных задач, в том числе в новой или незнакомой среде и в междисциплинарном контексте (ОПК-1);
- Способен разрабатывать оригинальные алгоритмы и программные средства, в том числе, с использованием современных интеллектуальных технологий, для решения профессиональных задач (ОПК-2).

В результате изучения дисциплины студент должен:

Знать

- классификацию эволюционных методов оптимизации;
- генетические алгоритмы поиска минимума функции одной переменной;
- генетические алгоритмы поиска минимума функции многих переменных;
- основные операторы генетических алгоритмов.

Уметь

- выполнять бинарное и вещественное кодирование параметров задачи;
- решать задачи поиска минимума функции одной переменной с помощью генетических алгоритмов;
- решать задачи поиска минимума функции многих переменных с помощью генетических алгоритмов;
- творчески использовать теоретические знания на практике;
- использовать полученные в научных исследованиях.

Владеть

- методами поиска минимума функции одной переменной с помощью генетических алгоритмов;
- методами поиска минимума функции многих переменных с помощью генетических алгоритмов.

5 СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тема 1. Эволюционные методы оптимизации

Классификация эвристических методов поиска экстремумов. Методы иммунных систем. Метод рассеивания. Эволюционная стратегия преобразования ковариационной матрицы. Метод динамических сеток.

Литература 1,3,4

Тема 2. Генетические алгоритмы оптимизации

Основные понятия генетических алгоритмов. Кодирование параметров задачи. Оператор селекции. Кроссинговер. Оператор мутации. Операторы отбора особей в новую популяцию. Основные отличия генетических алгоритмов от традиционных методов поиска решений. Поиск минимума функции одной переменной.

Литература 1,3,4

Тема 3. Многомерная безусловная оптимизация при помощи генетических алгоритмов

Постановка задачи. Селекция в задаче многомерной оптимизации. Кроссинговер в задаче многомерной оптимизации. Мутация в задаче многомерной оптимизации. Задача коммивояжера. Формирование системы прогнозирующих правил в деятельности страховых компаний.

Литература 1,3,4

6 ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Лабораторные работы предназначены для закрепления практических занятий, написания кодов программ и выполнения индивидуальных заданий.

Темы работ	Литература
Лабораторная работа №1. Кодирование параметров задачи в генетических алгоритмах	8
Лабораторная работа №2. Поиск минимума функции одной переменной на множестве целых чисел	8
Лабораторная работа №3. Поиск минимума функции одной переменной на множестве вещественных чисел с кодированием кодом Грэя	8
Лабораторная работа №4. Поиск минимума функции одной переменной с вещественным кодированием чисел	8
Лабораторная работа №5. Поиск минимума функции многих переменных с вещественным кодированием чисел	8

7. ТЕМЫ РЕФЕРАТОВ

№ п/п	Наименование темы	Литература
1	Методы иммунных систем поиска минимума функций	1,3,4,5
2	Метод рассеивания поиска минимума функций	1,3,4,5
3	Эволюционная стратегия преобразования ковариационной матрицы	1,3,4,5
4	Метод динамических сеток	1,3,4,5

8. ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

Тема 1

1. Приведите классификацию эвристических алгоритмов оптимизации.
2. Перечислите эволюционные алгоритмы поиска глобального минимума функции.
3. Перечислите методы роевого интеллекта.
4. Перечислите методы, имитирующие физические процессы.

5. С помощью какой операции осуществляется преобразование вектора параметров $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T \in D$ в хромосому пространства представлений S ?
6. С помощью какой операции осуществляется обратное преобразование хромосомы из пространства представлений S в решение, заданное на пространстве параметров D ?
7. Что такое бинарное кодирование и декодирование?
8. Что понимают под вещественным кодированием?
9. Дайте понятие искусственной иммунной системы.
10. Опишите расширенный метод искусственных иммунных систем.
11. Опишите процедуру поиска в методе рассеивания.
12. Особенности эволюционной стратегии преобразования ковариационной матрицы.
13. Особенности метода динамических сеток.

Тема 2

14. Дайте определение генетическому алгоритму.
15. Что такое эвристические алгоритмы?
16. Дайте определение понятиям: «ген», «хромосома», «генотип», «особь» и «фенотип».
17. Дайте понятие функции приспособленности
18. Перечислите основные шаги алгоритма процесса формирования нового поколения.
19. Перечислите операторы генетического алгоритма и их назначение.
20. Опишите операторы селекции.
21. Как вычислить вероятность каждой особи в методе селекции с помощью рулетки?
22. Какие операторы скрещивания вам известны?
23. Перечислите известные вам операторы мутации.
24. Какие виды кодирования вам известны?
25. Как декодировать строку, записанную в двоичном коде?
26. Как декодировать строку, записанную в коде Грэя?
27. Как связаны вещественные числа с числами в бинарном коде?
28. Какие из операторов генетического алгоритма выполняются с использованием элементов случайности, а какие по строго детерминированным правилам?
29. Перечислите основные отличия генетических алгоритмов от традиционных методов поиска решений.
30. Опишите схему работы генетического алгоритма.

31. Что может являться критерием остановки работы генетического алгоритма?

Тема 3

32. Какие компоненты включает вещественный генетический алгоритм (ГА) для решения задачи многомерной оптимизации?
33. С помощью какой операции оставляют в популяции решения выше средних и удаляют решения хуже средних из популяции и какие задачи для этого надо решить?
34. Как рассчитывается вероятность особи в линейном и нелинейном ранговом методе?
35. Перечислите предположения, на которых основан турнирный метод выбора решений в задаче безусловной оптимизации.
36. Перечислите предположения, на которых основан турнирный метод выбора решений в задаче условной оптимизации.
37. Как происходит скрещивание с помощью простого арифметического кроссинговера?
38. Чем отличается равномерный арифметический кроссинговер от неравномерного?
39. Как происходит скрещивание с помощью кроссинговера Лапласа?
40. Перечислите основные шаги алгоритма мутации в вещественных генетических алгоритмах.
41. Как происходит неравномерная мутация в вещественных генетических алгоритмах?
42. Как происходит экспоненциальная мутация в вещественных генетических алгоритмах?
43. В чем заключается задача коммивояжера?
44. Что является оптимальным решением задачи коммивояжера?
45. Приведите детерминированный алгоритм решения задачи коммивояжера.
46. Что является в задаче коммивояжера геном, генотипом и особью?
47. Как осуществляется генерация начальной популяции в задаче коммивояжера?
48. Опишите операторы скрещивания в задаче коммивояжера.
49. Опишите операторы мутации в решении задачи коммивояжера
50. Каковы особенности применения генетических алгоритмов формирование системы прогнозирующих правил в деятельности страховых компаний

9. ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАДАНИЯ ДЛЯ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

9.1 Практическое задание для лабораторной работы №1

1. Написать программы в пакете Mathcad (исходные данные – количество битов L):
 - a) бинарного кодирования целых чисел с помощью двоично-десятичного кода;
 - b) бинарного кодирования целых чисел с помощью кода Грея;
 - c) декодирования двоичных чисел в целые десятичные числа;
 - d) декодирования чисел Грея в целые десятичные числа.
2. Написать программы кодирования вещественных чисел в пакете Mathcad (исходные данные – границы интервала вещественной переменной $[a, b]$, количество битов L):
 - a) бинарного кодирования вещественных чисел с помощью двоично-десятичного кода;
 - b) бинарного кодирования вещественных чисел с помощью кода Грея;
 - c) декодирования двоичных чисел в вещественные десятичные числа;
 - d) декодирования чисел Грея в вещественные десятичные числа.
3. Написать программу вещественного кодирования многомерных переменных в пакете Mathcad (исходные данные – границы интервала вещественных переменных $[a_i, b_i], i = 1, \dots, n$)

9.2 Практическое задание для лабораторной работы №2

Написать программу поиска минимума функции одной переменной на множестве целых чисел с помощью генетического алгоритма. Программа может быть написана на любом алгоритмическом языке.

Входные данные:

- целевая функция;
- границы интервала поиска минимума функции $[a,b]$, где a и b – целые числа;
- количество особей в популяции K ;
- количество поколений N (количество итераций);
- параметр окончания поиска ε (точность решения).

9.2.1 Варианты заданий

1	$f(x) = \sqrt{1+x^2} + e^{-2x}$, $x \in [0;1]$, $\varepsilon = 0,001$
2	$f(x) = x^4 + 2x^2 + 4x + 1$, $x \in [-2;2]$, $\varepsilon = 0,001$
3	$f(x) = x^4 - 10 \cdot x^3 + 36 \cdot x^2 + 5 \cdot x$; $x \in [3;5]$, $\varepsilon = 0,001$
4	$f(x) = \ln(1+x^2) - \sin x$; $x \in [0; \pi/4]$, $\varepsilon = 0,001$
5	$f(x) = \frac{1}{4} \cdot x^4 + x^2 - 8 \cdot x + 12$; $x \in [0;2]$, $\varepsilon = 0,001$
6	$f(x) = x^3 - x + 1$; $x^0 \in [0;2]$, $\varepsilon = 0,001$
7	$f(x) = 2x^2 + 16/x$; $x \in [1;5]$, $\varepsilon = 0,001$
8	$f(x) = 4x^3 + 2x - 3x^2 + e^{x/2}$, $x \in [1;3]$, $\varepsilon = 0,001$
9	$f(x) = 24x - 2 \cdot x^2$, $x \in [-10;0]$, $\varepsilon = 0,001$
10	$f(x) = x^4 - 12 \cdot x^3 + 47 \cdot x^2 - 60 \cdot x$; $x \in [-1;3]$, $\varepsilon = 0,001$
11	$f(x) = 10x^3 + 3x^2 + x + 5$; $x \in [1;5]$, $\varepsilon = 0,001$
12	$f(x) = x^2 + e^{-x}$; $x \in [5;10]$, $\varepsilon = 0,001$
13	$f(x) = 2x + e^{-x}$; $x \in [-4;4]$, $\varepsilon = 0,001$
14	$f(x) = x^2 + x + \sin x$; $x \in [-10;10]$, $\varepsilon = 0,001$
15	$f(x) = x^2 - x + e^{-x}$; $x \in [-3;10]$, $\varepsilon = 0,001$
16	$f(x) = -(2x^2 - 5 - 2^x)$; $x \in [4;6]$, $\varepsilon = 0,001$
17	$f(x) = \frac{1}{3}x^3 + 2x^2 - 5x + 6$; $x \in [-3;5]$, $\varepsilon = 0,001$
18	$f(x) = -(-x^2 + 5x - 6)$; $x \in [-5;10]$, $\varepsilon = 0,001$

9.3 Практическое задание для лабораторной работы №3

Написать программу поиска минимума функции одной переменной на множестве вещественных чисел с бинарным кодированием кодом Грэя. Программа может быть написана на любом алгоритмическом языке.

Входные данные:

- целевая функция;
- границы интервала поиска минимума функции $[a,b]$, где a и b – вещественные числа;
- количество особей в популяции K ;
- количество поколений N (количество итераций);
- параметр окончания поиска ε (точность решения).

9.3.1 Варианты заданий

1	$f(x) = \sqrt{1+x^2} + e^{-2x}, x \in [0;1], \varepsilon = 0,001$
2	$f(x) = x^4 + 2x^2 + 4x + 1, x \in [-2;2], \varepsilon = 0,001$
3	$f(x) = x^4 - 10 \cdot x^3 + 36 \cdot x^2 + 5 \cdot x; x \in [3;5], \varepsilon = 0,001$
4	$f(x) = \ln(1+x^2) - \sin x; x \in [0; \pi/4], \varepsilon = 0,001$
5	$f(x) = \frac{1}{4} \cdot x^4 + x^2 - 8 \cdot x + 12; x \in [0;2], \varepsilon = 0,001$
6	$f(x) = x^3 - x + 1; x^0 \in [0;2], \varepsilon = 0,001$
7	$f(x) = 2x^2 + \frac{16}{x}; x \in [1;5], \varepsilon = 0,001$
8	$f(x) = 4x^3 + 2x - 3x^2 + e^{x/2}, x \in [1;3], \varepsilon = 0,001$
9	$f(x) = 24x - 2 \cdot x^2, x \in [-10;0], \varepsilon = 0,001$
10	$f(x) = x^4 - 12 \cdot x^3 + 47 \cdot x^2 - 60 \cdot x; x \in [-1;3], \varepsilon = 0,001$
11	$f(x) = 10x^3 + 3x^2 + x + 5; x \in [1;5], \varepsilon = 0,001$

12	$f(x) = x^2 + e^{-x}; x \in [5;10], \varepsilon = 0,001$
13	$f(x) = 2x + e^{-x}; x \in [-4;4], \varepsilon = 0,001$
14	$f(x) = x^2 + x + \sin x; x \in [-10;10], \varepsilon = 0,001$
15	$f(x) = x^2 - x + e^{-x}; x \in [-3;10], \varepsilon = 0,001$
16	$f(x) = -(2x^2 - 5 - 2^x); x \in [4;6], \varepsilon = 0,001$
17	$f(x) = \frac{1}{3}x^3 + 2x^2 - 5x + 6; x \in [-3;5], \varepsilon = 0,001$
18	$f(x) = -(-x^2 + 5x - 6); x \in [-5;10], \varepsilon = 0,001$

9.4 Практическое задание для лабораторной работы №4

Написать программу поиска минимума функции одной переменной на множестве вещественных чисел с вещественным кодированием. Программа может быть написана на любом алгоритмическом языке.

Входные данные:

- целевая функция;
- границы интервала поиска минимума функции $[a,b]$, где a и b – вещественные числа;
- количество особей в популяции K ;
- количество поколений N (количество итераций);
- параметры алгоритма $\varepsilon = 1, \beta = 0,5$.
- параметр окончания поиска ε (точность решения).

9.4.1 Варианты заданий

1	$f(x) = \sqrt{1+x^2} + e^{-2x}, x \in [0;1], \varepsilon = 0,001$
2	$f(x) = x^4 + 2x^2 + 4x + 1, x \in [-2;2], \varepsilon = 0,001$
3	$f(x) = x^4 - 10 \cdot x^3 + 36 \cdot x^2 + 5 \cdot x; x \in [3;5], \varepsilon = 0,001$
4	$f(x) = \ln(1+x^2) - \sin x; x \in [0; \pi/4], \varepsilon = 0,001$

5	$f(x) = \frac{1}{4} \cdot x^4 + x^2 - 8 \cdot x + 12; \quad x \in [0; 2], \quad \varepsilon = 0,001$
6	$f(x) = x^3 - x + 1; \quad x^0 \in [0; 2], \quad \varepsilon = 0,001$
7	$f(x) = 2x^2 + \frac{16}{x}; \quad x \in [1; 5], \quad \varepsilon = 0,001$
8	$f(x) = 4x^3 + 2x - 3x^2 + e^{x/2}, \quad x \in [1; 3], \quad \varepsilon = 0,001$
9	$f(x) = 24x - 2 \cdot x^2, \quad x \in [-10; 0], \quad \varepsilon = 0,001$
10	$f(x) = x^4 - 12 \cdot x^3 + 47 \cdot x^2 - 60 \cdot x; \quad x \in [-1; 3], \quad \varepsilon = 0,001$
11	$f(x) = 10x^3 + 3x^2 + x + 5; \quad x \in [1; 5], \quad \varepsilon = 0,001$
12	$f(x) = x^2 + e^{-x}; \quad x \in [5; 10], \quad \varepsilon = 0,001$
13	$f(x) = 2x + e^{-x}; \quad x \in [-4; 4], \quad \varepsilon = 0,001$
14	$f(x) = x^2 + x + \sin x; \quad x \in [-10; 10], \quad \varepsilon = 0,001$
15	$f(x) = x^2 - x + e^{-x}; \quad x \in [-3; 10], \quad \varepsilon = 0,001$
16	$f(x) = -(2x^2 - 5 - 2^x); \quad x \in [4; 6], \quad \varepsilon = 0,001$
17	$f(x) = \frac{1}{3}x^3 + 2x^2 - 5x + 6; \quad x \in [-3; 5], \quad \varepsilon = 0,001$
18	$f(x) = -(-x^2 + 5x - 6); \quad x \in [-5; 10], \quad \varepsilon = 0,001$

9.5 Практическое задание для лабораторной работы №5

Написать программу поиска минимума функции многих переменных на множестве вещественных чисел с вещественным кодированием. Программа может быть написана на любом алгоритмическом языке.

Входные данные:

- целевая функция;
- границы интервала поиска минимума функции $[a_i, b_i], i = 1, \dots, n$, где a_i и b_i – вещественные числа;
- количество особей в популяции K ;
- количество поколений N (количество итераций);
- параметры алгоритма $\varepsilon = 1, \beta = 0,5$.
- параметр окончания поиска ε (точность решения).

9.5.1 Варианты заданий

1	$f(x) = 2x_1^2 + x_2^2 + \sin(x_1 + x_2);$ $x_1 \in [-5;5], x_2 \in [-5;5], \varepsilon = 0,01; xT = (-0,204; -0,409)$
2	$f(x) = c_1(x_2 - x_1^2)^2 + (x_2 - 1)^2$ $x_1 \in [-2;2], x_2 \in [-2;2], \varepsilon = 0,01; xT = (-0,229; 0,037)$
3	$f(x) = c_1x_1^2 + c_2x_1x_2 + c_3x_2^2 + c_4x_1 + c_5x_2 - c_6;$ $c_1 = 1, c_2 = 1, c_3 = 1, c_4 = 1, c_5 = 1, c_6 = 1;$ $x_1 \in [-2;2], x_2 \in [-2;2], \varepsilon = 0,01; xT = (-0,333; -0,333)$
4	$f(x) = 3x_1^2 + 4x_2^2 + 23\cos(x_1 - 05);$ $x_1 \in [-5;5], x_2 \in [-5;5], \varepsilon = 0,01; xT = (-2,071; 0)$
5	$f(x) = 2x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2 - 3x_1;$ $x_1 \in [-2;2], x_2 \in [-2;2], \varepsilon = 0,01. xT = (0,857; -0,429)$
6	$f(x_1, x_2) = 4(x_1 - 5)^2 + (x_2 - 6)^2, \varepsilon = 0,01$ $x_1 \in [0;0], x_2 \in [10;10], \varepsilon = 0,01; xT = (5;10)$
7	$f(x) = x_1^2 + x_1x_2 + x_2^2 - 3x_1 - 6x_2, \varepsilon = 0,01; xT = (0;3)$ $x_1 = [-2;2]; x_2 = [0; 4]$
8	$f(x) = -4 + (x_1^2 + x_2^2)^{2/3}, \varepsilon = 0,01; xT = (0;0)$ $x_1 = [-3;3]; x_2 = [-3;3].$
9	$f(x) = -(x_1^2 + x_2^2) \cdot (\exp(-(x_1^2 + x_2^2)) - 1), \varepsilon = 0,01$ $x_1 = [-3;3]; x_2 = [-3;3]; xT = (0;0).$
10	$f(x) = 100 \cdot (x_2 - x_1^2)^2 + (1 - x_1)^2, \varepsilon = 0,01; xT = (1;1)$ $x_1 = [-1;1]; x_2 = [-1;1]$
11	$f(x) = (x_1 - 3)^2 - (x_2 - x_1) + \exp [20 \cdot (x_2 - x_1)]; \varepsilon = 0,01$ $x_1 = [0;6]; x_2 = [0;6]; xT = (3;2,85)$
12	$f(x) = 4x_1 + 2x_2 - x_1^2 - x_2^2 + 5, \varepsilon = 0,01$ $x_1 = [-2;2]; x_2 = [-3;3]; xT = (0; -1)$
13	$f(x) = 2 \cdot x_1^2 + 4x_1x_2 + 3x_2^2, \varepsilon = 0,001; xT = (0;0)$ $x_1 = [-3;3]; x_2 = [-3;3].$
14	$f(x) = x_1^2 + 2x_2^2 + x_1x_2 - 7x_1 - 7x_2, \varepsilon = 0,01$ $x_1 = [-3;6]; x_2 = [-3;6]; xT = (3;1)$
15	$f(x) = 2x_1^2 + x_2^2 + x_1x_2 + x_1 + x_2, \varepsilon = 0,01$

	$x_1 = [-3; 3]; x_2 = [-3; 3]; xT = (-0,143; -0,429)$
16	$f(x) = (2x^2 - 5 - 2^y + y^2), \varepsilon = 0,01$ $x_1 = [-3; 3]; x_2 = [-3; 3]; xT = (0; 0,485)$

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

10.1. Основная литература

1. Мицель А.А. Эвристические методы оптимизации: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2022. – 73с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа

<https://asu.tusur.ru/learning/090401e/d17/090401e-d17-lect.pdf>

10.2. Дополнительная литература

2. Панченко Т.В. Генетические алгоритмы: учебно-методическое пособие/ под ред. Ю.Ю. Тарасевича. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2007. – 87с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:
<http://mathmod.asu.edu.ru/images/File/ebooks/GAfinal.pdf>

3. Мицель А. А., Шелестов А. А., Романенко В. В. Методы оптимизации: Учебное пособие. Часть 1, 2. –Томск: ТУСУР. – 2020. –741 с

<https://asu.tusur.ru/learning/090301/d24/090301-d24-lect.pdf>

4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы: Пер.с польск. И.Д.Рудинского. – Изд-во «Горячая линия- Телеком», 2013. – 384с.

10.3 Перечень методических указаний по проведению лабораторных учебных занятий

5. Мицель А.А. Эвристические методы оптимизации: Методические указания по выполнению лабораторных работ для студентов направления подготовки 09.04.01 – Информатика и вычислительная техника (магистратура) – Томск: ТУСУР, 2022. – 58с. [Электронный ресурс]. – Режим доступа:

<https://asu.tusur.ru/learning/090401e/d17/090401e-d17-labs.pdf>