|  |  |
| --- | --- |
| Gerb-BMSTU_01 | **Министерство науки и высшего образования Российской Федерации**  **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение**  **высшего образования**  **«Московский государственный технический университет**  **имени Н.Э. Баумана**  **(национальный исследовательский университет)»**  **(МГТУ им. Н.Э. Баумана)** |

ФАКУЛЬТЕТ «Информатика и системы управления» (ИУ)

КАФЕДРА «Информационная безопасность» (ИУ8)

Отчёт

по лабораторной работе № 5

по дисциплине «Теория Систем и Системный Анализ»

**Тема: «Исследование генетических алгоритмов в задачах поиска экстремумов»**

Вариант 5

Выполнил: Куликова А. В.,

студент группы ИУ8-11М

Проверил: Строганов. И.С.

г. Москва, 2023 г.

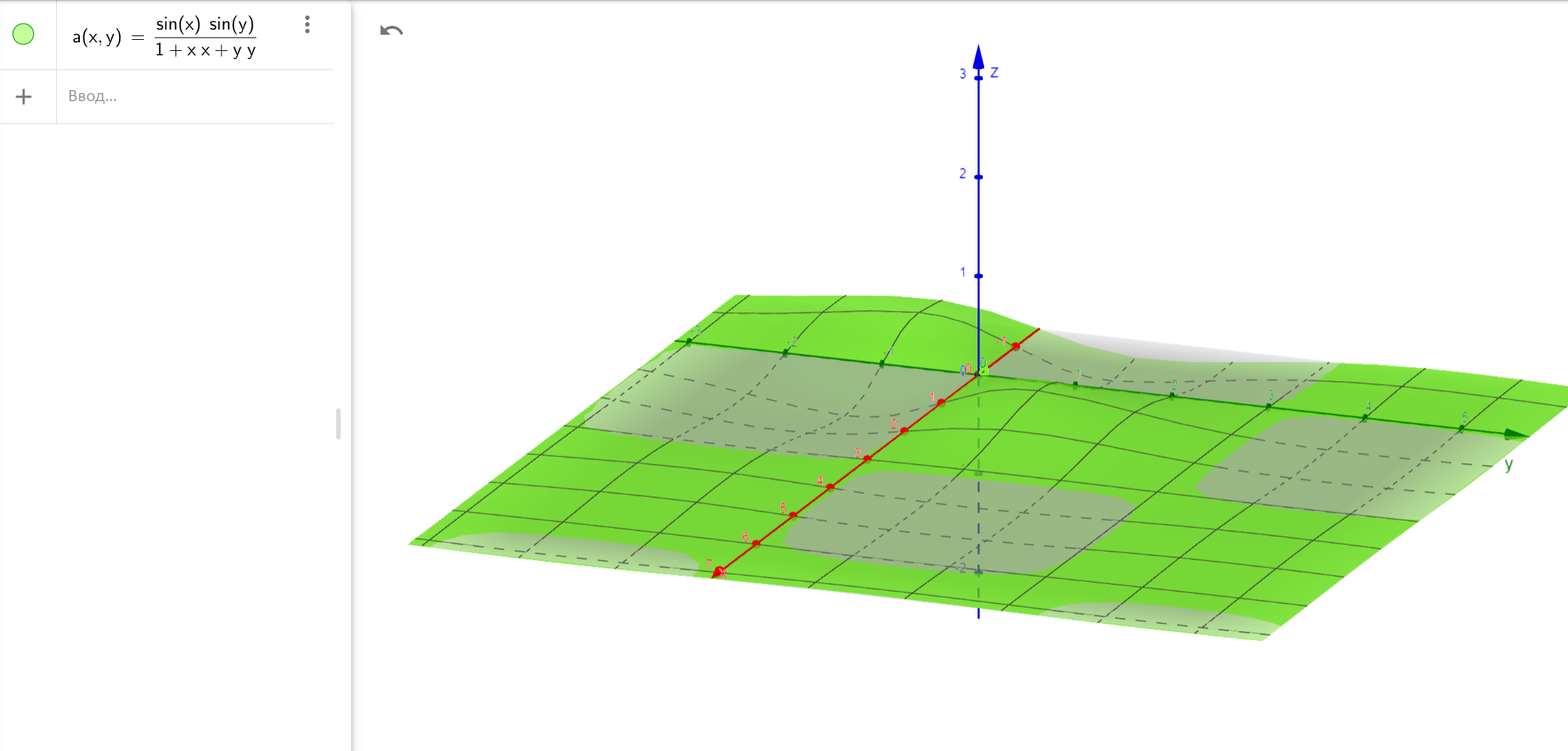
# 1. Цель работы

Изучить основные принципы действия генетических алгоритмов на примере решения задач оптимизации функций двух переменных.

# 2. Постановка задачи

Функция:

Область допустимых значений:



**Рисунок 1** – график функции

# 3. Ход работы

**Таблица 1** – Популяции для первых 10 итераций алгоритма

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № поколения | x | y | FIT | Максимальный результат | Средний результат |
| 0 | -0.89603 | -1.68348 | 0.167329 | 0.160093 | 0.221546 |
| -0.31066 | -0.880575 | 0.125922 |
| -2.14558 | -0.823884 | 0.0980338 |
| -0.152086 | -1.1882 | 0.0577205 |
| 1 | -1.2858 | -1.0341 | 0.221546 | 0.160093 | 0.221546 |
| -2.14558 | -0.880575 | 0.101459 |
| -1.2858 | -1.1882 | 0.219005 |
| -2.1688 | -0.880575 | 0.0983608 |
| 2 | -0.868215 | -1.10793 | 0.229052 | 0.220046 | 0.221546 |
| -1.2858 | -0.880575 | 0.215826 |
| -0.868215 | -1.23797 | 0.219481 |
| -1.2858 | -0.880575 | 0.215826 |
| 3 | -0.868215 | -0.880575 | 0.232677 | 0.215025 | 0.232677 |
| -0.595444 | -0.876693 | 0.20305 |
| -0.868215 | -0.880575 | 0.232677 |
| -1.49294 | -0.876693 | 0.191696 |
| 4 | -0.913727 | -1.19695 | 0.225578 | 0.222536 | 0.225578 |
| -0.868215 | -0.876693 | 0.232557 |
| -0.913727 | -0.578039 | 0.199453 |
| -0.868215 | -0.876693 | 0.232557 |
| 5 | -0.985704 | -0.876693 | 0.233842 | 0.231449 | 0.233842 |
| -0.812114 | -0.876693 | 0.229736 |
| -0.985704 | -1.18996 | 0.228459 |
| -0.913727 | -0.876693 | 0.233759 |
| 6 | -0.985704 | -1.20428 | 0.227444 | 0.229771 | 0.227444 |
| -0.985704 | -1.0601 | 0.234956 |
| -0.985704 | -0.876693 | 0.233842 |
| -0.763322 | -1.0601 | 0.222842 |
| 7 | -0.985704 | -1.12137 | 0.232535 | 0.232214 | 0.232535 |
| -0.985704 | -1.04091 | 0.235454 |
| -0.985704 | -1.0601 | 0.234956 |
| -0.785002 | -1.04091 | 0.225911 |
| 8 | -1.10014 | -1.26405 | 0.22312 | 0.22518 | 0.22312 |
| -0.985704 | -1.04091 | 0.235454 |
| -1.10014 | -1.04091 | 0.233483 |
| -0.651734 | -1.04091 | 0.208665 |
| 9 | -1.10014 | -1.04091 | 0.233483 | 0.214263 | 0.233483 |
| -0.594726 | -0.977367 | 0.201169 |
| -1.10014 | -1.04091 | 0.233483 |
| -1.55976 | -0.977367 | 0.188915 |
| 10 | -1.05532 | -1.01675 | 0.235077 | 0.23424 | 0.235077 |
| -1.10014 | -0.977367 | 0.233415 |
| -1.05532 | -1.02007 | 0.235053 |
| -1.10014 | -0.977367 | 0.233415 |

# 4. Выводы

В данной лабораторной работе были изучены основные принципы действия генетических алгоритмов на примере решения задач оптимизации функций двух переменных.

**5. Контрольный вопрос**

**1. Опишите основные шаги классического генетического алгоритма.**

Классический генетический алгоритм представляет собой метод решения задач оптимизации, основанный на имитации процесса естественного отбора и эволюции. Основные шаги классического генетического алгоритма, следующие:

1. Инициализация популяции: создается начальная популяция, состоящая из случайных решений (хромосом). Хромосома — это структура данных, представляющая возможное решение задачи.

2. Оценка приспособленности: для каждого решения (хромосомы) в популяции определяется его приспособленность (fitness) - функция оценки качества этого решения. В задачах оптимизации приспособленность соответствует значению целевой функции.

3. Селекция: на основе значений приспособленности осуществляется отбор лучших решений для создания новых особей (родителей). Применяются различные методы селекции, например, отбор по рулетки или турнирный отбор.

4. Скрещивание: Выбранные родители обмениваются частями своих хромосом (генетической информацией), создавая новые хромосомы (потомков). Применяются разные стратегии скрещивания, такие как одноточечное, двухточечное скрещивание или кроссовер по полам.

5. Мутация: к каждому потомку применяются случайные изменения (мутации) с заданной вероятностью. Это позволяет избежать попадания в локальные оптимумы и улучшить разнообразие популяции.

6. Обновление популяции: Потомки заменяют худшие решения в популяции, увеличивая ее качество.

7. Проверка условия остановки: проверяется условие остановки алгоритма, например, достижение заданного числа поколений или нахождение оптимального решения. Если условие не выполняется, то переходим к шагу 2 и повторяем процесс.

8. Возвращение лучшего решения: В конце работы алгоритма возвращается лучшее решение (хромосома) с максимальной приспособленностью. Это решение является оптимальным или близким к оптимальному.

**2. Объясните основную идею эволюционных алгоритмов.**

Эволюционные алгоритмы основаны на имитации процессов, происходящих в природе, — естественном отборе и генетических мутациях. Алгоритм начинает работу с формирования начальной популяции, состоящей из особей (хромосом), которые кодируют возможные решения задачи. Особи оцениваются с точки зрения их приспособленности (обычно с помощью некоторой целевой функции), после чего происходит скрещивание наиболее приспособленных особей и внесение случайных мутаций с целью формирования новой популяции.

Этот процесс повторяется определенное количество раз или до тех пор, пока не будет найдено оптимальное решение.

**3. Опишите основные преимущества и недостатки, область применимости генетических алгоритмов.**

Генетические алгоритмы являются мощным инструментом для решения задач оптимизации. Они имеют следующие преимущества:

– Простота реализации: Генетические алгоритмы основаны на базовых принципах генетики и эволюции, что делает их понятными и простыми в реализации.

– Эффективность: Генетические алгоритмы могут находить оптимальные или близкие к оптимальным решения за относительно небольшое количество итераций.

– Универсальность: Генетические алгоритмы применимы к широкому кругу задач, включая задачи комбинаторной оптимизации, планирование, машинное обучение и т.д.

Однако генетические алгоритмы также имеют некоторые недостатки:

– Требуют большого количества вычислений: Генетические алгоритмы требуют большого количества итераций для нахождения оптимального решения, что может быть неприемлемым для некоторых задач.

– Сложность настройки параметров: для эффективной работы генетического алгоритма необходимо правильно настроить такие параметры, как размер популяции, вероятность мутации и т.д., что может потребовать значительных усилий и времени.

– Непригодность для задач с непрерывным пространством решений: Генетические алгоритмы лучше всего подходят для задач комбинаторной оптимизации и не очень хорошо работают с задачами, имеющими непрерывное пространство решений.

Область применимости генетических алгоритмов включает задачи оптимизации, планирование ресурсов, машинное обучение, биоинформатика и многое другое.

**4. Перечислите виды алгоритмов селекции, кроссовера, мутации.**

1. Алгоритмы селекции:

– Отбор по рулетки: каждая особь имеет свой радиус, который определяет вероятность выбора этой особи для скрещивания.

– Турнирный отбор: из популяции выбирается определенное количество пар, и внутри каждой пары выбирается наиболее приспособленная особь для скрещивания.

2. Виды кроссовера:

– Одноточечный кроссовер: гены обмениваются между двумя хромосомами в одной точке.

– Двухточечный кроссовер: гены обмениваются в двух точках, создавая более разнообразное потомство.

– Половой кроссовер: обмен генами происходит только между особями разного пола.

3. Стратегии мутации:

– Вероятность мутации: каждая хромосома имеет определенную вероятность мутации.

– Точечная мутация: случайный ген в хромосоме заменяется другим геном.

– Вставка/удаление гена: случайный ген добавляется или удаляется из хромосомы.

**ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результат программы**

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 0

MIDDLE = 0.112251

MAXIMUM = 0.167329

x: -0.89603 y: -1.68348 f: 0.167329

x: -0.31066 y: -0.880575 f: 0.125922

x: -2.14558 y: -0.823884 f: 0.0980338

x: -0.152086 y: -1.1882 f: 0.0577205

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 1

MIDDLE = 0.160093

MAXIMUM = 0.221546

x: -1.2858 y: -1.0341 f: 0.221546

x: -2.14558 y: -0.880575 f: 0.101459

x: -1.2858 y: -1.1882 f: 0.219005

x: -2.1688 y: -0.880575 f: 0.0983608

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 2

MIDDLE = 0.220046

MAXIMUM = 0.229052

x: -0.868215 y: -1.10793 f: 0.229052

x: -1.2858 y: -0.880575 f: 0.215826

x: -0.868215 y: -1.23797 f: 0.219481

x: -1.2858 y: -0.880575 f: 0.215826

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 3

MIDDLE = 0.215025

MAXIMUM = 0.232677

x: -0.868215 y: -0.880575 f: 0.232677

x: -0.595444 y: -0.876693 f: 0.20305

x: -0.868215 y: -0.880575 f: 0.232677

x: -1.49294 y: -0.876693 f: 0.191696

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 4

MIDDLE = 0.222536

MAXIMUM = 0.225578

x: -0.913727 y: -1.19695 f: 0.225578

x: -0.868215 y: -0.876693 f: 0.232557

x: -0.913727 y: -0.578039 f: 0.199453

x: -0.868215 y: -0.876693 f: 0.232557

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 5

MIDDLE = 0.231449

MAXIMUM = 0.233842

x: -0.985704 y: -0.876693 f: 0.233842

x: -0.812114 y: -0.876693 f: 0.229736

x: -0.985704 y: -1.18996 f: 0.228459

x: -0.913727 y: -0.876693 f: 0.233759

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 6

MIDDLE = 0.229771

MAXIMUM = 0.227444

x: -0.985704 y: -1.20428 f: 0.227444

x: -0.985704 y: -1.0601 f: 0.234956

x: -0.985704 y: -0.876693 f: 0.233842

x: -0.763322 y: -1.0601 f: 0.222842

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 7

MIDDLE = 0.232214

MAXIMUM = 0.232535

x: -0.985704 y: -1.12137 f: 0.232535

x: -0.985704 y: -1.04091 f: 0.235454

x: -0.985704 y: -1.0601 f: 0.234956

x: -0.785002 y: -1.04091 f: 0.225911

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 8

MIDDLE = 0.22518

MAXIMUM = 0.22312

x: -1.10014 y: -1.26405 f: 0.22312

x: -0.985704 y: -1.04091 f: 0.235454

x: -1.10014 y: -1.04091 f: 0.233483

x: -0.651734 y: -1.04091 f: 0.208665

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 9

MIDDLE = 0.214263

MAXIMUM = 0.233483

x: -1.10014 y: -1.04091 f: 0.233483

x: -0.594726 y: -0.977367 f: 0.201169

x: -1.10014 y: -1.04091 f: 0.233483

x: -1.55976 y: -0.977367 f: 0.188915

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 10

MIDDLE = 0.23424

MAXIMUM = 0.235077

x: -1.05532 y: -1.01675 f: 0.235077

x: -1.10014 y: -0.977367 f: 0.233415

x: -1.05532 y: -1.02007 f: 0.235053

x: -1.10014 y: -0.977367 f: 0.233415

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 11

MIDDLE = 0.220577

MAXIMUM = 0.230034

x: -1.05532 y: -1.16995 f: 0.230034

x: -1.05532 y: -1.00005 f: 0.235131

x: -1.05532 y: -0.977367 f: 0.235032

x: -1.61733 y: -1.00005 f: 0.182108

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 12

MIDDLE = 0.220458

MAXIMUM = 0.235131

x: -1.05532 y: -1.00005 f: 0.235131

x: -1.26349 y: -1.16093 f: 0.221645

x: -1.05532 y: -1.53503 f: 0.194518

x: -1.05532 y: -1.16093 f: 0.230537

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 13

MIDDLE = 0.230345

MAXIMUM = 0.230537

x: -1.05532 y: -1.16093 f: 0.230537

x: -1.1619 y: -1.03741 f: 0.230604

x: -1.05532 y: -1.16093 f: 0.230537

x: -1.17728 y: -1.03741 f: 0.229701

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 14

MIDDLE = 0.229624

MAXIMUM = 0.227058

x: -1.05532 y: -1.21678 f: 0.227058

x: -1.05532 y: -0.956186 f: 0.234755

x: -1.05532 y: -1.03741 f: 0.234864

x: -1.26342 y: -0.956186 f: 0.221821

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 15

MIDDLE = 0.212072

MAXIMUM = 0.234755

x: -1.05532 y: -0.956186 f: 0.234755

x: -1.49974 y: -1.34129 f: 0.192406

x: -1.05532 y: -0.956186 f: 0.234755

x: -1.55735 y: -1.34129 f: 0.186374

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 16

MIDDLE = 0.20101

MAXIMUM = 0.216533

x: -1.05532 y: -1.34129 f: 0.216533

x: -1.52047 y: -1.38937 f: 0.187392

x: -1.05532 y: -1.34129 f: 0.216533

x: -1.55786 y: -1.38937 f: 0.183583

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 17

MIDDLE = 0.226903

MAXIMUM = 0.230817

x: -1.05532 y: -0.85551 f: 0.230817

x: -1.05532 y: -0.876223 f: 0.231996

x: -1.05532 y: -1.38937 f: 0.211614

x: -0.888223 y: -0.876223 f: 0.233185

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 18

MIDDLE = 0.213967

MAXIMUM = 0.231996

x: -1.05532 y: -0.876223 f: 0.231996

x: -1.30747 y: -0.883636 f: 0.213851

x: -1.05532 y: -0.876223 f: 0.231996

x: -0.482082 y: -0.883636 f: 0.178026

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 19

MIDDLE = 0.210219

MAXIMUM = 0.2003

x: -0.888992 y: -0.581136 f: 0.2003

x: -1.05532 y: -0.883636 f: 0.23237

x: -0.888992 y: -0.883636 f: 0.233449

x: -0.469448 y: -0.883636 f: 0.174757

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 20

MIDDLE = 0.234134

MAXIMUM = 0.233449

x: -0.888992 y: -0.883636 f: 0.233449

x: -0.906647 y: -0.959268 f: 0.235115

x: -0.888992 y: -1.03101 f: 0.23343

x: -0.888992 y: -0.959268 f: 0.234541

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 21

MIDDLE = 0.225491

MAXIMUM = 0.217535

x: -1.26719 y: -1.24514 f: 0.217535

x: -0.888992 y: -0.959268 f: 0.234541

x: -1.26719 y: -1.28087 f: 0.215344

x: -0.888992 y: -0.959268 f: 0.234541

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 22

MIDDLE = 0.22598

MAXIMUM = 0.234504

x: -0.887989 y: -0.959268 f: 0.234504

x: -0.872974 y: -0.959268 f: 0.233897

x: -0.887989 y: -1.30955 f: 0.213927

x: -1.26719 y: -0.959268 f: 0.221591

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 23

MIDDLE = 0.200714

MAXIMUM = 0.223424

x: -1.24626 y: -0.959268 f: 0.223424

x: -0.528827 y: -0.959268 f: 0.18778

x: -1.24626 y: -0.479649 f: 0.157148

x: -0.887989 y: -0.959268 f: 0.234504

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 24

MIDDLE = 0.226189

MAXIMUM = 0.233085

x: -1.10066 y: -0.959268 f: 0.233085

x: -1.12355 y: -0.959268 f: 0.231964

x: -1.10066 y: -0.727252 f: 0.216283

x: -1.24626 y: -0.959268 f: 0.223424

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 25

MIDDLE = 0.222356

MAXIMUM = 0.221034

x: -1.10066 y: -0.7675 f: 0.221034

x: -1.10066 y: -1.14434 f: 0.230522

x: -1.10066 y: -0.959268 f: 0.233085

x: -1.45063 y: -1.14434 f: 0.204781

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 26

MIDDLE = 0.227814

MAXIMUM = 0.228344

x: -1.10066 y: -1.18674 f: 0.228344

x: -1.10066 y: -0.860191 f: 0.228955

x: -1.10066 y: -1.14434 f: 0.230522

x: -1.18395 y: -0.860191 f: 0.223435

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 27

MIDDLE = 0.225983

MAXIMUM = 0.228955

x: -1.10066 y: -0.860191 f: 0.228955

x: -1.13418 y: -1.14899 f: 0.22924

x: -1.10066 y: -1.35215 f: 0.215429

x: -1.10066 y: -1.14899 f: 0.230309

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 28

MIDDLE = 0.228844

MAXIMUM = 0.230309

x: -1.10066 y: -1.14899 f: 0.230309

x: -1.05584 y: -0.935896 f: 0.234299

x: -1.10066 y: -1.32161 f: 0.218279

x: -1.10066 y: -0.935896 f: 0.23249

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 29

MIDDLE = 0.224849

MAXIMUM = 0.23249

x: -1.10066 y: -0.935896 f: 0.23249

x: -1.24177 y: -0.867768 f: 0.219108

x: -1.10066 y: -0.935896 f: 0.23249

x: -1.28198 y: -0.867768 f: 0.215307

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 30

MIDDLE = 0.20682

MAXIMUM = 0.23359

x: -0.928873 y: -0.867768 f: 0.23359

x: -1.48817 y: -0.867768 f: 0.19162

x: -0.928873 y: -0.464589 f: 0.172645

x: -1.10066 y: -0.867768 f: 0.229423

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 31

MIDDLE = 0.233569

MAXIMUM = 0.23359

x: -0.928873 y: -0.867768 f: 0.23359

x: -0.911059 y: -0.967265 f: 0.235231

x: -0.928873 y: -0.867768 f: 0.23359

x: -0.835728 y: -0.967265 f: 0.231864

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 32

MIDDLE = 0.213876

MAXIMUM = 0.235651

x: -0.928873 y: -0.967265 f: 0.235651

x: -1.29391 y: -0.748045 f: 0.202333

x: -0.928873 y: -1.51277 f: 0.192615

x: -0.928873 y: -0.748045 f: 0.224907

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 33

MIDDLE = 0.204556

MAXIMUM = 0.214009

x: -0.928873 y: -1.33164 f: 0.214009

x: -0.928873 y: -1.13567 f: 0.230388

x: -0.928873 y: -0.748045 f: 0.224907

x: -0.41644 y: -1.13567 f: 0.14892

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 34

MIDDLE = 0.23228

MAXIMUM = 0.233983

x: -0.928873 y: -1.05943 f: 0.233983

x: -0.928873 y: -0.95699 f: 0.235635

x: -0.928873 y: -1.13567 f: 0.230388

x: -0.795919 y: -0.95699 f: 0.229113

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 35

MIDDLE = 0.225555

MAXIMUM = 0.222698

x: -1.1157 y: -1.26592 f: 0.222698

x: -0.928873 y: -0.95699 f: 0.235635

x: -1.1157 y: -0.95699 f: 0.232315

x: -0.650016 y: -0.95699 f: 0.211571

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 36

MIDDLE = 0.211074

MAXIMUM = 0.21065

x: -0.688792 y: -0.723952 f: 0.21065

x: -1.1157 y: -0.95699 f: 0.232315

x: -0.688792 y: -0.95699 f: 0.217375

x: -1.5897 y: -0.95699 f: 0.183957

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 37

MIDDLE = 0.228088

MAXIMUM = 0.236033

x: -0.981894 y: -0.95699 f: 0.236033

x: -0.905097 y: -0.95699 f: 0.235069

x: -0.981894 y: -1.24868 f: 0.223875

x: -0.688792 y: -0.95699 f: 0.217375

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 38

MIDDLE = 0.223676

MAXIMUM = 0.222966

x: -0.968736 y: -0.734939 f: 0.222966

x: -0.981894 y: -0.95699 f: 0.236033

x: -0.968736 y: -0.58563 f: 0.199674

x: -0.981894 y: -0.95699 f: 0.236033

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 39

MIDDLE = 0.216043

MAXIMUM = 0.236041

x: -0.968736 y: -0.95699 f: 0.236041

x: -0.629847 y: -0.738162 f: 0.204147

x: -0.968736 y: -1.46493 f: 0.200652

x: -0.968736 y: -0.738162 f: 0.223332

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 40

MIDDLE = 0.226969

MAXIMUM = 0.223332

x: -0.968736 y: -0.738162 f: 0.223332

x: -0.851484 y: -0.830206 f: 0.229975

x: -0.968736 y: -0.738162 f: 0.223332

x: -0.985998 y: -0.830206 f: 0.231236

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 41

MIDDLE = 0.225153

MAXIMUM = 0.231494

x: -0.968736 y: -0.830206 f: 0.231494

x: -1.01859 y: -1.03119 f: 0.235546

x: -0.968736 y: -1.48614 f: 0.198025

x: -0.968736 y: -1.03119 f: 0.235547

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 42

MIDDLE = 0.235915

MAXIMUM = 0.235977

x: -0.968736 y: -0.950206 f: 0.235977

x: -0.968736 y: -0.960277 f: 0.236065

x: -0.968736 y: -1.03119 f: 0.235547

x: -0.977172 y: -0.960277 f: 0.236071

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 43

MIDDLE = 0.230518

MAXIMUM = 0.235956

x: -0.950547 y: -0.960277 f: 0.235956

x: -1.21939 y: -0.960277 f: 0.225658

x: -0.950547 y: -1.23109 f: 0.224394

x: -0.968736 y: -0.960277 f: 0.236065

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 44

MIDDLE = 0.224384

MAXIMUM = 0.235956

x: -0.950547 y: -0.960277 f: 0.235956

x: -1.26999 y: -1.01033 f: 0.222635

x: -0.950547 y: -0.960277 f: 0.235956

x: -1.45783 y: -1.01033 f: 0.202992

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 45

MIDDLE = 0.205314

MAXIMUM = 0.177417

x: -0.73267 y: -1.49028 f: 0.177417

x: -0.950547 y: -1.01033 f: 0.235693

x: -0.73267 y: -1.01033 f: 0.221509

x: -0.532603 y: -1.01033 f: 0.186636

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 46

MIDDLE = 0.223201

MAXIMUM = 0.232548

x: -0.860127 y: -1.01033 f: 0.232548

x: -1.33373 y: -1.01033 f: 0.216686

x: -0.860127 y: -1.20115 f: 0.222062

x: -0.73267 y: -1.01033 f: 0.221509

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 47

MIDDLE = 0.224307

MAXIMUM = 0.222616

x: -0.907889 y: -0.726636 f: 0.222616

x: -0.860127 y: -1.01033 f: 0.232548

x: -0.907889 y: -0.6327 f: 0.209517

x: -0.860127 y: -1.01033 f: 0.232548

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 48

MIDDLE = 0.235187

MAXIMUM = 0.235526

x: -1.01545 y: -0.945418 f: 0.235526

x: -0.907889 y: -1.01033 f: 0.234661

x: -1.01545 y: -0.995993 f: 0.235903

x: -0.907889 y: -1.01033 f: 0.234661

-------------------------------------------------------

GENERATION N # 49

MIDDLE = 0.213646

MAXIMUM = 0.211488

x: -1.01545 y: -0.661815 f: 0.211488

x: -1.01545 y: -0.790506 f: 0.22737

x: -1.01545 y: -1.01033 f: 0.235826

x: -1.52357 y: -0.790506 f: 0.179901

**ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Исходный код**

Ссылка на git-репозиторий: https://github.com/Kulikova-A18/TSiSa\_lab\_2