|  |  |
| --- | --- |
| 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 № 2

по дисциплине «Теория Систем и Системный Анализ»

**Тема: «Исследование метода случайного поиска экстремума функции одного переменного»**

Вариант «№3»

Выполнил: Быкова П. Е.,

студентка группы ИУ8-33

Проверил: Коннова Н. С.,

доцент каф. ИУ8

г. Москва,

2020 г.

# 1. Цель работы

Изучение метода случайного поиска экстремума на примере унимодальной и мультимодальной функций одного переменного.

# 2. Постановка задачи

Унимодальная функция:

Отрезок поиска:

1. На интервале [a,b] задана унимодальная функция одного переменного f(x). Используя метод случайного поиска осуществить поиск минимума f(x) с заданной вероятностью попадания в окрестность экстремума P при допустимой длине интервала неопределенности ε. Определить необходимое число испытаний N. Численный эксперимент выполнить для значений P = 0,90, 0,91,..., 0,99 и значений ε = − (b-a)q, где q = 0,005, 0,010,..., 0,100.

Последовательность действий:

- определить вероятность P1 непопадания в ε -окрестность экстремума за одной испытание;

- записать выражение для вероятности Pn непопадания в ε -окрестность экстремума за N испытаний;

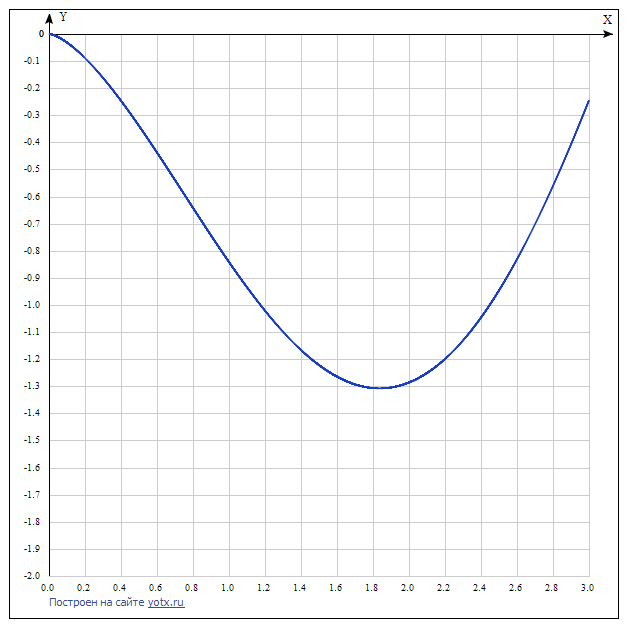
- из выражения для Pn определить необходимое число испытаний N в зависимости от заданных Pn = P и ε.

2. При аналогичных исходных условиях осуществить поиск минимума f(x), модулированной сигналом sin5x , т.е. мультимодальной функции f(x)sin5.

# 3. Ход работы

Задана функция: f(x) = (-x)^1/2\*sin(x) на интервале [0,3] (см. рисунок 1). В данном методе P – это вероятность того, что найденная точка минимума находится в интервале неопределенности, а q – это вероятность попадания в интервал неопределенности для отдельно взятой точки. Тогда вероятность непопадания в интервал неопределенности за одно испытание будет равна 1-q. Вероятность непопадания в интервал неопределенности за N испытаний будет равна (1-q)^N. Тогда вероятность P = 1-(1-q)^N. Отсюда можем найти N = ln(1-P)/ln(1-q). Случайно выбираем N точек в заданном отрезке [a,b], определим значение унимодальной функции в этих точках и среди них найдем наименьшее значение. Результаты численного эксперимента для представим в виде таблицы в зависимости от P и q.

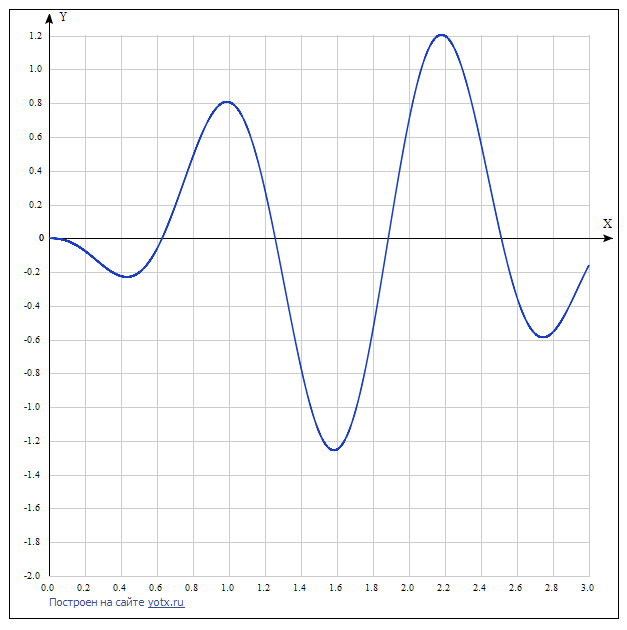
Рисунок 1 демонстрирует график унимодальной функции.

**Рисунок 1** – график функции

**Таблица 1** – результаты программы для унимодальной функции

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | P | q | N | min f(x) | P1 | Pn |
| 1 | 0.9 | 0.005 | 460 | -1.30762 | 0.995 | 0.0996821 |
| 2 | 0.91 | 0.005 | 481 | -1.30762 | 0.995 | 0.0897226 |
| 3 | 0.92 | 0.005 | 504 | -1.30756 | 0.995 | 0.0799526 |
| 4 | 0.93 | 0.005 | 531 | -1.30762 | 0.995 | 0.0698322 |
| 5 | 0.94 | 0.005 | 562 | -1.30762 | 0.995 | 0.0597821 |
| 6 | 0.95 | 0.005 | 598 | -1.30758 | 0.995 | 0.0499117 |
| 7 | 0.96 | 0.005 | 643 | -1.30762 | 0.995 | 0.0398328 |
| 8 | 0.97 | 0.005 | 700 | -1.30762 | 0.995 | 0.0299334 |
| 9 | 0.98 | 0.005 | 781 | -1.30762 | 0.995 | 0.0199446 |
| 10 | 0.99 | 0.005 | 919 | -1.30762 | 0.995 | 0.00998645 |
| 11 | 0.9 | 0.01 | 230 | -1.30762 | 0.99 | 0.0991048 |
| 12 | 0.91 | 0.01 | 240 | -1.30749 | 0.99 | 0.0896286 |
| 13 | 0.92 | 0.01 | 252 | -1.30758 | 0.99 | 0.0794455 |
| 14 | 0.93 | 0.01 | 265 | -1.30762 | 0.99 | 0.0697151 |
| 15 | 0.94 | 0.01 | 280 | -1.30762 | 0.99 | 0.059959 |
| 16 | 0.95 | 0.01 | 299 | -1.30758 | 0.99 | 0.0495363 |
| 17 | 0.96 | 0.01 | 321 | -1.30755 | 0.99 | 0.0397098 |
| 18 | 0.97 | 0.01 | 349 | -1.30762 | 0.99 | 0.0299697 |
| 19 | 0.98 | 0.01 | 390 | -1.30762 | 0.99 | 0.0198484 |
| 20 | 0.99 | 0.01 | 459 | -1.30762 | 0.99 | 0.00992097 |
| 21 | 0.9 | 0.015 | 153 | -1.30758 | 0.985 | 0.0990246 |
| 22 | 0.91 | 0.015 | 160 | -1.30762 | 0.985 | 0.0890834 |
| 23 | 0.92 | 0.015 | 168 | -1.30709 | 0.985 | 0.0789381 |
| 24 | 0.93 | 0.015 | 176 | -1.30762 | 0.985 | 0.0699482 |
| 25 | 0.94 | 0.015 | 187 | -1.30762 | 0.985 | 0.0592346 |
| 26 | 0.95 | 0.015 | 199 | -1.3076 | 0.985 | 0.0494094 |
| 27 | 0.96 | 0.015 | 213 | -1.30748 | 0.985 | 0.0399868 |
| 28 | 0.97 | 0.015 | 233 | -1.3076 | 0.985 | 0.0295557 |
| 29 | 0.98 | 0.015 | 259 | -1.3076 | 0.985 | 0.0199519 |
| 30 | 0.99 | 0.015 | 305 | -1.30762 | 0.985 | 0.00995521 |
| 31 | 0.9 | 0.02 | 114 | -1.30761 | 0.98 | 0.0999477 |
| 32 | 0.91 | 0.02 | 120 | -1.30761 | 0.98 | 0.0885379 |
| 33 | 0.92 | 0.02 | 126 | -1.30726 | 0.98 | 0.0784306 |
| 34 | 0.93 | 0.02 | 132 | -1.30761 | 0.98 | 0.0694771 |
| 35 | 0.94 | 0.02 | 140 | -1.30757 | 0.98 | 0.0591086 |
| 36 | 0.95 | 0.02 | 149 | -1.30761 | 0.98 | 0.0492817 |
| 37 | 0.96 | 0.02 | 160 | -1.30762 | 0.98 | 0.0394614 |
| 38 | 0.97 | 0.02 | 174 | -1.30761 | 0.98 | 0.0297397 |
| 39 | 0.98 | 0.02 | 194 | -1.30741 | 0.98 | 0.0198545 |
| 40 | 0.99 | 0.02 | 228 | -1.30762 | 0.98 | 0.00998953 |
| 41 | 0.9 | 0.025 | 91 | -1.30762 | 0.975 | 0.0998665 |
| 42 | 0.91 | 0.025 | 96 | -1.30752 | 0.975 | 0.087992 |
| 43 | 0.92 | 0.025 | 100 | -1.30742 | 0.975 | 0.0795173 |
| 44 | 0.93 | 0.025 | 106 | -1.30738 | 0.975 | 0.0683108 |
| 45 | 0.94 | 0.025 | 112 | -1.30761 | 0.975 | 0.0586836 |
| 46 | 0.95 | 0.025 | 119 | -1.30759 | 0.975 | 0.0491529 |
| 47 | 0.96 | 0.025 | 128 | -1.30761 | 0.975 | 0.0391373 |
| 48 | 0.97 | 0.025 | 139 | -1.30755 | 0.975 | 0.0296239 |
| 49 | 0.98 | 0.025 | 155 | -1.30747 | 0.975 | 0.0197567 |
| 50 | 0.99 | 0.025 | 182 | -1.30761 | 0.975 | 0.00997333 |
| 51 | 0.9 | 0.03 | 76 | -1.30748 | 0.97 | 0.0987761 |
| 52 | 0.91 | 0.03 | 80 | -1.30734 | 0.97 | 0.0874458 |
| 53 | 0.92 | 0.03 | 83 | -1.30274 | 0.97 | 0.0798094 |
| 54 | 0.93 | 0.03 | 88 | -1.30757 | 0.97 | 0.068535 |
| 55 | 0.94 | 0.03 | 93 | -1.30758 | 0.97 | 0.0588534 |
| 56 | 0.95 | 0.03 | 99 | -1.30761 | 0.97 | 0.0490232 |
| 57 | 0.96 | 0.03 | 106 | -1.30752 | 0.97 | 0.0396099 |
| 58 | 0.97 | 0.03 | 116 | -1.30761 | 0.97 | 0.0292093 |
| 59 | 0.98 | 0.03 | 129 | -1.30759 | 0.97 | 0.0196587 |
| 60 | 0.99 | 0.03 | 152 | -1.30748 | 0.97 | 0.00975671 |
| 61 | 0.9 | 0.035 | 65 | -1.30753 | 0.965 | 0.0986905 |
| 62 | 0.91 | 0.035 | 68 | -1.30759 | 0.965 | 0.0886865 |
| 63 | 0.92 | 0.035 | 71 | -1.30753 | 0.965 | 0.0796965 |
| 64 | 0.93 | 0.035 | 75 | -1.3076 | 0.965 | 0.0691112 |
| 65 | 0.94 | 0.035 | 79 | -1.30745 | 0.965 | 0.0599319 |
| 66 | 0.95 | 0.035 | 85 | -1.30754 | 0.965 | 0.0483974 |
| 67 | 0.96 | 0.035 | 91 | -1.30762 | 0.965 | 0.0390828 |
| 68 | 0.97 | 0.035 | 99 | -1.30762 | 0.965 | 0.0293903 |
| 69 | 0.98 | 0.035 | 110 | -1.30725 | 0.965 | 0.0198612 |
| 70 | 0.99 | 0.035 | 130 | -1.3076 | 0.965 | 0.00973982 |
| 71 | 0.9 | 0.04 | 57 | -1.30712 | 0.96 | 0.0976024 |
| 72 | 0.91 | 0.04 | 59 | -1.30675 | 0.96 | 0.0899503 |
| 73 | 0.92 | 0.04 | 62 | -1.30761 | 0.96 | 0.0795823 |
| 74 | 0.93 | 0.04 | 66 | -1.30106 | 0.96 | 0.0675929 |
| 75 | 0.94 | 0.04 | 69 | -1.30622 | 0.96 | 0.0598019 |
| 76 | 0.95 | 0.04 | 74 | -1.30759 | 0.96 | 0.0487608 |
| 77 | 0.96 | 0.04 | 79 | -1.30749 | 0.96 | 0.0397583 |
| 78 | 0.97 | 0.04 | 86 | -1.30518 | 0.96 | 0.0298762 |
| 79 | 0.98 | 0.04 | 96 | -1.30747 | 0.96 | 0.0198627 |
| 80 | 0.99 | 0.04 | 113 | -1.30711 | 0.96 | 0.00992314 |
| 81 | 0.9 | 0.045 | 51 | -1.30762 | 0.955 | 0.0955371 |
| 82 | 0.91 | 0.045 | 53 | -1.30549 | 0.955 | 0.0871322 |
| 83 | 0.92 | 0.045 | 55 | -1.301 | 0.955 | 0.0794667 |
| 84 | 0.93 | 0.045 | 58 | -1.30761 | 0.955 | 0.0692143 |
| 85 | 0.94 | 0.045 | 62 | -1.30739 | 0.955 | 0.0575717 |
| 86 | 0.95 | 0.045 | 66 | -1.30745 | 0.955 | 0.0478875 |
| 87 | 0.96 | 0.045 | 70 | -1.30762 | 0.955 | 0.0398324 |
| 88 | 0.97 | 0.045 | 77 | -1.30759 | 0.955 | 0.0288576 |
| 89 | 0.98 | 0.045 | 85 | -1.307 | 0.955 | 0.0199658 |
| 90 | 0.99 | 0.045 | 101 | -1.30753 | 0.955 | 0.00955742 |
| 91 | 0.9 | 0.05 | 45 | -1.30694 | 0.95 | 0.0994403 |
| 92 | 0.91 | 0.05 | 47 | -1.30737 | 0.95 | 0.0897448 |
| 93 | 0.92 | 0.05 | 50 | -1.30743 | 0.95 | 0.076945 |
| 94 | 0.93 | 0.05 | 52 | -1.30695 | 0.95 | 0.0694428 |
| 95 | 0.94 | 0.05 | 55 | -1.30742 | 0.95 | 0.0595386 |
| 96 | 0.95 | 0.05 | 59 | -1.30727 | 0.95 | 0.0484945 |
| 97 | 0.96 | 0.05 | 63 | -1.3076 | 0.95 | 0.0394991 |
| 98 | 0.97 | 0.05 | 69 | -1.30752 | 0.95 | 0.0290355 |
| 99 | 0.98 | 0.05 | 77 | -1.30661 | 0.95 | 0.0192627 |
| 100 | 0.99 | 0.05 | 90 | -1.30728 | 0.95 | 0.00988836 |
| 101 | 0.9 | 0.055 | 41 | -1.30762 | 0.945 | 0.0983341 |
| 102 | 0.91 | 0.055 | 43 | -1.30397 | 0.945 | 0.0878148 |
| 103 | 0.92 | 0.055 | 45 | -1.30761 | 0.945 | 0.0784208 |
| 104 | 0.93 | 0.055 | 48 | -1.30759 | 0.945 | 0.06618 |
| 105 | 0.94 | 0.055 | 50 | -1.3064 | 0.945 | 0.0591004 |
| 106 | 0.95 | 0.055 | 53 | -1.30759 | 0.945 | 0.0498753 |
| 107 | 0.96 | 0.055 | 57 | -1.30747 | 0.945 | 0.0397753 |
| 108 | 0.97 | 0.055 | 62 | -1.30275 | 0.945 | 0.0299759 |
| 109 | 0.98 | 0.055 | 70 | -1.30753 | 0.945 | 0.0190646 |
| 110 | 0.99 | 0.055 | 82 | -1.30761 | 0.945 | 0.0096696 |
| 111 | 0.9 | 0.06 | 38 | -1.2978 | 0.94 | 0.0952486 |
| 112 | 0.91 | 0.06 | 39 | -1.3076 | 0.94 | 0.0895337 |
| 113 | 0.92 | 0.06 | 41 | -1.30671 | 0.94 | 0.0791119 |
| 114 | 0.93 | 0.06 | 43 | -1.30714 | 0.94 | 0.0699033 |
| 115 | 0.94 | 0.06 | 46 | -1.3076 | 0.94 | 0.0580606 |
| 116 | 0.95 | 0.06 | 49 | -1.30595 | 0.94 | 0.0482242 |
| 117 | 0.96 | 0.06 | 53 | -1.30727 | 0.94 | 0.037651 |
| 118 | 0.97 | 0.06 | 57 | -1.30761 | 0.94 | 0.029396 |
| 119 | 0.98 | 0.06 | 64 | -1.30673 | 0.94 | 0.0190626 |
| 120 | 0.99 | 0.06 | 75 | -1.30719 | 0.94 | 0.00965137 |
| 121 | 0.9 | 0.065 | 35 | -1.30742 | 0.935 | 0.0951495 |
| 122 | 0.91 | 0.065 | 36 | -1.30762 | 0.935 | 0.0889648 |
| 123 | 0.92 | 0.065 | 38 | -1.30661 | 0.935 | 0.0777752 |
| 124 | 0.93 | 0.065 | 40 | -1.30329 | 0.935 | 0.067993 |
| 125 | 0.94 | 0.065 | 42 | -1.30656 | 0.935 | 0.0594412 |
| 126 | 0.95 | 0.065 | 45 | -1.30504 | 0.935 | 0.0485873 |
| 127 | 0.96 | 0.065 | 48 | -1.29514 | 0.935 | 0.0397153 |
| 128 | 0.97 | 0.065 | 53 | -1.30714 | 0.935 | 0.0283802 |
| 129 | 0.98 | 0.065 | 59 | -1.30758 | 0.935 | 0.018962 |
| 130 | 0.99 | 0.065 | 69 | -1.30747 | 0.935 | 0.0096828 |
| 131 | 0.9 | 0.07 | 32 | -1.2928 | 0.93 | 0.0980515 |
| 132 | 0.91 | 0.07 | 34 | -1.30759 | 0.93 | 0.0848048 |
| 133 | 0.92 | 0.07 | 35 | -1.30753 | 0.93 | 0.0788684 |
| 134 | 0.93 | 0.07 | 37 | -1.30759 | 0.93 | 0.0682133 |
| 135 | 0.94 | 0.07 | 39 | -1.30583 | 0.93 | 0.0589977 |
| 136 | 0.95 | 0.07 | 42 | -1.30621 | 0.93 | 0.0474552 |
| 137 | 0.96 | 0.07 | 45 | -1.30259 | 0.93 | 0.0381709 |
| 138 | 0.97 | 0.07 | 49 | -1.30259 | 0.93 | 0.0285538 |
| 139 | 0.98 | 0.07 | 54 | -1.30754 | 0.93 | 0.0198646 |
| 140 | 0.99 | 0.07 | 64 | -1.3072 | 0.93 | 0.0096141 |
| 141 | 0.9 | 0.075 | 30 | -1.30657 | 0.925 | 0.0964388 |
| 142 | 0.91 | 0.075 | 31 | -1.29872 | 0.925 | 0.0892059 |
| 143 | 0.92 | 0.075 | 33 | -1.30751 | 0.925 | 0.0763268 |
| 144 | 0.93 | 0.075 | 35 | -1.30747 | 0.925 | 0.0653071 |
| 145 | 0.94 | 0.075 | 37 | -1.28079 | 0.925 | 0.0558784 |
| 146 | 0.95 | 0.075 | 39 | -1.30645 | 0.925 | 0.047811 |
| 147 | 0.96 | 0.075 | 42 | -1.30714 | 0.925 | 0.0378401 |
| 148 | 0.97 | 0.075 | 45 | -1.30655 | 0.925 | 0.0299487 |
| 149 | 0.98 | 0.075 | 51 | -1.30752 | 0.925 | 0.0187598 |
| 150 | 0.99 | 0.075 | 60 | -1.3065 | 0.925 | 0.00930045 |
| 151 | 0.9 | 0.08 | 28 | -1.3069 | 0.92 | 0.096841 |
| 152 | 0.91 | 0.08 | 29 | -1.30432 | 0.92 | 0.0890937 |
| 153 | 0.92 | 0.08 | 31 | -1.30758 | 0.92 | 0.0754089 |
| 154 | 0.93 | 0.08 | 32 | -1.3005 | 0.92 | 0.0693762 |
| 155 | 0.94 | 0.08 | 34 | -1.30759 | 0.92 | 0.05872 |
| 156 | 0.95 | 0.08 | 36 | -1.30703 | 0.92 | 0.0497006 |
| 157 | 0.96 | 0.08 | 39 | -1.30725 | 0.92 | 0.0387013 |
| 158 | 0.97 | 0.08 | 43 | -1.30761 | 0.92 | 0.0277253 |
| 159 | 0.98 | 0.08 | 47 | -1.30688 | 0.92 | 0.0198622 |
| 160 | 0.99 | 0.08 | 56 | -1.30761 | 0.92 | 0.00937817 |
| 161 | 0.9 | 0.085 | 26 | -1.3076 | 0.915 | 0.0992998 |
| 162 | 0.91 | 0.085 | 28 | -1.30751 | 0.915 | 0.0831363 |
| 163 | 0.92 | 0.085 | 29 | -1.30387 | 0.915 | 0.0760697 |
| 164 | 0.93 | 0.085 | 30 | -1.30762 | 0.915 | 0.0696038 |
| 165 | 0.94 | 0.085 | 32 | -1.30758 | 0.915 | 0.058274 |
| 166 | 0.95 | 0.085 | 34 | -1.30732 | 0.915 | 0.0487885 |
| 167 | 0.96 | 0.085 | 37 | -1.30659 | 0.915 | 0.0373749 |
| 168 | 0.97 | 0.085 | 40 | -1.30762 | 0.915 | 0.0286315 |
| 169 | 0.98 | 0.085 | 45 | -1.30735 | 0.915 | 0.0183632 |
| 170 | 0.99 | 0.085 | 52 | -1.30759 | 0.915 | 0.00986045 |
| 171 | 0.9 | 0.09 | 25 | -1.30257 | 0.91 | 0.0946313 |
| 172 | 0.91 | 0.09 | 26 | -1.2916 | 0.91 | 0.0861145 |
| 173 | 0.92 | 0.09 | 27 | -1.30733 | 0.91 | 0.0783642 |
| 174 | 0.93 | 0.09 | 29 | -1.30733 | 0.91 | 0.0648934 |
| 175 | 0.94 | 0.09 | 30 | -1.30677 | 0.91 | 0.059053 |
| 176 | 0.95 | 0.09 | 32 | -1.30715 | 0.91 | 0.0489018 |
| 177 | 0.96 | 0.09 | 35 | -1.30228 | 0.91 | 0.036851 |
| 178 | 0.97 | 0.09 | 38 | -1.30654 | 0.91 | 0.0277698 |
| 179 | 0.98 | 0.09 | 42 | -1.30706 | 0.91 | 0.0190431 |
| 180 | 0.99 | 0.09 | 49 | -1.2771 | 0.91 | 0.00984075 |
| 181 | 0.9 | 0.095 | 24 | -1.30715 | 0.905 | 0.09111 |
| 182 | 0.91 | 0.095 | 25 | -1.30705 | 0.905 | 0.0824545 |
| 183 | 0.92 | 0.095 | 26 | -1.30752 | 0.905 | 0.0746213 |
| 184 | 0.93 | 0.095 | 27 | -1.28203 | 0.905 | 0.0675323 |
| 185 | 0.94 | 0.095 | 29 | -1.30633 | 0.905 | 0.0553107 |
| 186 | 0.95 | 0.095 | 31 | -1.30694 | 0.905 | 0.0453008 |
| 187 | 0.96 | 0.095 | 33 | -1.3047 | 0.905 | 0.0371025 |
| 188 | 0.97 | 0.095 | 36 | -1.30471 | 0.905 | 0.027501 |
| 189 | 0.98 | 0.095 | 40 | -1.30743 | 0.905 | 0.0184477 |
| 190 | 0.99 | 0.095 | 47 | -1.30418 | 0.905 | 0.00917241 |
| 191 | 0.9 | 0.1 | 22 | -1.26588 | 0.9 | 0.0984771 |
| 192 | 0.91 | 0.1 | 23 | -1.30365 | 0.9 | 0.0886294 |
| 193 | 0.92 | 0.1 | 24 | -1.30718 | 0.9 | 0.0797664 |
| 194 | 0.93 | 0.1 | 26 | -1.3075 | 0.9 | 0.0646108 |
| 195 | 0.94 | 0.1 | 27 | -1.30434 | 0.9 | 0.0581497 |
| 196 | 0.95 | 0.1 | 29 | -1.30698 | 0.9 | 0.0471013 |
| 197 | 0.96 | 0.1 | 31 | -1.3071 | 0.9 | 0.038152 |
| 198 | 0.97 | 0.1 | 34 | -1.30752 | 0.9 | 0.0278128 |
| 199 | 0.98 | 0.1 | 38 | -1.30757 | 0.9 | 0.018248 |
| 200 | 0.99 | 0.1 | 44 | -1.30677 | 0.9 | 0.00969774 |

Рисунок 2 демонстрирует график мультимодальной функции.



**Рисунок 2** – график функции

**Таблица 2** – результаты программы для унимодальной функции

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | P | q | N | min f(x) | P1 | Pn |
| 1 | 0.9 | 0.005 | 460 | -1.25568 | 0.995 | 0.0996821 |
| 2 | 0.91 | 0.005 | 481 | -1.25556 | 0.995 | 0.0897226 |
| 3 | 0.92 | 0.05 | 504 | -1.25573 | 0.995 | 0.0799526 |
| 4 | 0.93 | 0.005 | 531 | -1.25573 | 0.995 | 0.0698322 |
| 5 | 0.94 | 0.005 | 562 | -1.25552 | 0.995 | 0.0597821 |
| 6 | 0.95 | 0.005 | 598 | -1.25572 | 0.995 | 0.0499117 |
| 7 | 0.96 | 0.005 | 643 | -1.25573 | 0.995 | 0.0398328 |
| 8 | 0.97 | 0.005 | 700 | -1.2557 | 0.995 | 0.0299334 |
| 9 | 0.98 | 0.005 | 781 | -1.25571 | 0.995 | 0.0199446 |
| 10 | 0.99 | 0.005 | 919 | -1.25574 | 0.995 | 0.00998645 |
| 11 | 0.9 | 0.01 | 230 | -1.2426 | 0.99 | 0.0991048 |
| 12 | 0.91 | 0.01 | 240 | -1.25518 | 0.99 | 0.0896286 |
| 13 | 0.92 | 0.01 | 252 | -1.25558 | 0.99 | 0.0794455 |
| 14 | 0.93 | 0.01 | 265 | -1.25421 | 0.99 | 0.0697151 |
| 15 | 0.94 | 0.01 | 280 | -1.25558 | 0.99 | 0.059959 |
| 16 | 0.95 | 0.01 | 299 | -1.25365 | 0.99 | 0.0495363 |
| 17 | 0.96 | 0.01 | 321 | -1.25573 | 0.99 | 0.0397098 |
| 18 | 0.97 | 0.01 | 349 | -1.25477 | 0.99 | 0.0299697 |
| 19 | 0.98 | 0.01 | 390 | -1.244 | 0.99 | 0.0198484 |
| 20 | 0.99 | 0.01 | 459 | -1.25564 | 0.99 | 0.00992097 |
| 21 | 0.9 | 0.015 | 153 | -1.25258 | 0.985 | 0.0990246 |
| 22 | 0.91 | 0.015 | 160 | -1.25401 | 0.985 | 0.0890834 |
| 23 | 0.92 | 0.015 | 168 | -1.25549 | 0.985 | 0.0789381 |
| 24 | 0.93 | 0.015 | 176 | -1.2554 | 0.985 | 0.0699482 |
| 25 | 0.94 | 0.015 | 187 | -1.25489 | 0.985 | 0.0592346 |
| 26 | 0.95 | 0.015 | 199 | -1.25507 | 0.985 | 0.0494094 |
| 27 | 0.96 | 0.015 | 213 | -1.25317 | 0.985 | 0.0399868 |
| 28 | 0.97 | 0.015 | 233 | -1.25574 | 0.985 | 0.0295557 |
| 29 | 0.98 | 0.015 | 259 | -1.25543 | 0.985 | 0.0199519 |
| 30 | 0.99 | 0.015 | 305 | -1.25513 | 0.985 | 0.00995521 |
| 31 | 0.9 | 0.02 | 114 | -1.25572 | 0.98 | 0.0999477 |
| 32 | 0.91 | 0.02 | 120 | -1.2555 | 0.98 | 0.0885379 |
| 33 | 0.92 | 0.02 | 126 | -1.24666 | 0.98 | 0.0784306 |
| 34 | 0.93 | 0.02 | 132 | -1.24028 | 0.98 | 0.0694771 |
| 35 | 0.94 | 0.02 | 140 | -1.25367 | 0.98 | 0.0591086 |
| 36 | 0.95 | 0.02 | 149 | -1.25465 | 0.98 | 0.0492817 |
| 37 | 0.96 | 0.02 | 160 | -1.25538 | 0.98 | 0.0394614 |
| 38 | 0.97 | 0.02 | 174 | -1.25491 | 0.98 | 0.0297397 |
| 39 | 0.98 | 0.02 | 194 | -1.25565 | 0.98 | 0.0198545 |
| 40 | 0.99 | 0.02 | 228 | -1.25418 | 0.98 | 0.00998953 |
| 41 | 0.9 | 0.025 | 91 | -1.24352 | 0.975 | 0.0998665 |
| 42 | 0.91 | 0.025 | 96 | -1.25511 | 0.975 | 0.087992 |
| 43 | 0.92 | 0.025 | 100 | -1.25547 | 0.975 | 0.0795173 |
| 44 | 0.93 | 0.025 | 106 | -1.2531 | 0.975 | 0.0683108 |
| 45 | 0.94 | 0.025 | 112 | -1.25571 | 0.975 | 0.0586836 |
| 46 | 0.95 | 0.025 | 119 | -1.25406 | 0.975 | 0.0491529 |
| 47 | 0.96 | 0.025 | 128 | -1.2535 | 0.975 | 0.0391373 |
| 48 | 0.97 | 0.025 | 139 | -1.25572 | 0.975 | 0.0296239 |
| 49 | 0.98 | 0.025 | 155 | -1.25574 | 0.975 | 0.0197567 |
| 50 | 0.99 | 0.025 | 182 | -1.25459 | 0.975 | 0.00997333 |
| 51 | 0.9 | 0.03 | 76 | -1.25544 | 0.97 | 0.0987761 |
| 52 | 0.91 | 0.03 | 80 | -1.25443 | 0.97 | 0.0874458 |
| 53 | 0.92 | 0.03 | 83 | -1.25554 | 0.97 | 0.0798094 |
| 54 | 0.93 | 0.03 | 88 | -1.2509 | 0.97 | 0.068535 |
| 55 | 0.94 | 0.03 | 93 | -1.25192 | 0.97 | 0.0588534 |
| 56 | 0.95 | 0.03 | 99 | -1.23947 | 0.97 | 0.0490232 |
| 57 | 0.96 | 0.03 | 106 | -1.25573 | 0.97 | 0.0396099 |
| 58 | 0.97 | 0.03 | 116 | -1.25529 | 0.97 | 0.0292093 |
| 59 | 0.98 | 0.03 | 129 | -1.25515 | 0.97 | 0.0196587 |
| 60 | 0.99 | 0.03 | 152 | -1.2555 | 0.97 | 0.00975671 |
| 61 | 0.9 | 0.035 | 65 | -1.25438 | 0.965 | 0.0986905 |
| 62 | 0.91 | 0.035 | 68 | -1.25452 | 0.965 | 0.0886865 |
| 63 | 0.92 | 0.035 | 71 | -1.25565 | 0.965 | 0.0796965 |
| 64 | 0.93 | 0.035 | 75 | -1.2411 | 0.965 | 0.0691112 |
| 65 | 0.94 | 0.035 | 79 | -1.25229 | 0.965 | 0.0599319 |
| 66 | 0.95 | 0.035 | 85 | -1.25572 | 0.965 | 0.0483974 |
| 67 | 0.96 | 0.035 | 91 | -1.209 | 0.965 | 0.0390828 |
| 68 | 0.97 | 0.035 | 99 | -1.25571 | 0.965 | 0.0293903 |
| 69 | 0.98 | 0.035 | 110 | -1.25542 | 0.965 | 0.0198612 |
| 70 | 0.99 | 0.035 | 130 | -1.25442 | 0.965 | 0.00973982 |
| 71 | 0.9 | 0.04 | 57 | -1.18574 | 0.96 | 0.0976024 |
| 72 | 0.91 | 0.04 | 59 | -1.25566 | 0.96 | 0.0899503 |
| 73 | 0.92 | 0.04 | 62 | -1.25499 | 0.96 | 0.0795823 |
| 74 | 0.93 | 0.04 | 66 | -1.24524 | 0.96 | 0.0675929 |
| 75 | 0.94 | 0.04 | 69 | -1.25514 | 0.96 | 0.0598019 |
| 76 | 0.95 | 0.04 | 74 | -1.2463 | 0.96 | 0.0487608 |
| 77 | 0.96 | 0.04 | 79 | -1.25572 | 0.96 | 0.0397583 |
| 78 | 0.97 | 0.04 | 86 | -1.25573 | 0.96 | 0.0298762 |
| 79 | 0.98 | 0.04 | 96 | -1.20367 | 0.96 | 0.0198627 |
| 80 | 0.99 | 0.04 | 113 | -1.25551 | 0.96 | 0.00992314 |
| 81 | 0.9 | 0.045 | 51 | -1.12282 | 0.955 | 0.0955371 |
| 82 | 0.91 | 0.045 | 53 | -1.25111 | 0.955 | 0.0871322 |
| 83 | 0.92 | 0.045 | 55 | -1.25546 | 0.955 | 0.0794667 |
| 84 | 0.93 | 0.045 | 58 | -1.24743 | 0.955 | 0.0692143 |
| 85 | 0.94 | 0.045 | 62 | -1.22766 | 0.955 | 0.0575717 |
| 86 | 0.95 | 0.045 | 66 | -1.25048 | 0.955 | 0.0478875 |
| 87 | 0.96 | 0.045 | 70 | -1.2479 | 0.955 | 0.0398324 |
| 88 | 0.97 | 0.045 | 77 | -1.25567 | 0.955 | 0.0288576 |
| 89 | 0.98 | 0.045 | 85 | -1.25483 | 0.955 | 0.0199658 |
| 90 | 0.99 | 0.045 | 101 | -1.25573 | 0.955 | 0.00955742 |
| 91 | 0.9 | 0.05 | 45 | -1.22527 | 0.95 | 0.0994403 |
| 92 | 0.91 | 0.05 | 47 | -1.24293 | 0.95 | 0.0897448 |
| 93 | 0.92 | 0.05 | 50 | -1.24792 | 0.95 | 0.076945 |
| 94 | 0.93 | 0.05 | 52 | -1.25443 | 0.95 | 0.0694428 |
| 95 | 0.94 | 0.05 | 55 | -1.24906 | 0.95 | 0.0595386 |
| 96 | 0.95 | 0.05 | 59 | -1.23943 | 0.95 | 0.0484945 |
| 97 | 0.96 | 0.05 | 63 | -1.20298 | 0.95 | 0.0394991 |
| 98 | 0.97 | 0.05 | 69 | -1.25527 | 0.95 | 0.0290355 |
| 99 | 0.98 | 0.05 | 77 | -1.20683 | 0.95 | 0.0192627 |
| 100 | 0.99 | 0.05 | 90 | -1.25569 | 0.95 | 0.00988836 |
| 101 | 0.9 | 0.055 | 41 | -1.24472 | 0.945 | 0.0983341 |
| 102 | 0.91 | 0.055 | 43 | -1.23881 | 0.945 | 0.0878148 |
| 103 | 0.92 | 0.055 | 45 | -1.24726 | 0.945 | 0.0784208 |
| 104 | 0.93 | 0.055 | 48 | -1.22037 | 0.945 | 0.06618 |
| 105 | 0.94 | 0.055 | 50 | -1.25358 | 0.945 | 0.0591004 |
| 106 | 0.95 | 0.055 | 53 | -1.20781 | 0.945 | 0.0498753 |
| 107 | 0.96 | 0.055 | 57 | -1.23797 | 0.945 | 0.0397753 |
| 108 | 0.97 | 0.055 | 62 | -1.25554 | 0.945 | 0.0299759 |
| 109 | 0.98 | 0.055 | 70 | -1.24987 | 0.945 | 0.0190646 |
| 110 | 0.99 | 0.055 | 82 | -1.25498 | 0.945 | 0.0096696 |
| 111 | 0.9 | 0.06 | 38 | -1.22231 | 0.94 | 0.0952486 |
| 112 | 0.91 | 0.06 | 39 | -1.18176 | 0.94 | 0.0895337 |
| 113 | 0.92 | 0.06 | 41 | -1.25322 | 0.94 | 0.0791119 |
| 114 | 0.93 | 0.06 | 43 | -1.25419 | 0.94 | 0.0699033 |
| 115 | 0.94 | 0.06 | 46 | -1.10693 | 0.94 | 0.0580606 |
| 116 | 0.95 | 0.06 | 49 | -1.25573 | 0.94 | 0.0482242 |
| 117 | 0.96 | 0.06 | 53 | -1.09074 | 0.94 | 0.037651 |
| 118 | 0.97 | 0.06 | 57 | -1.20963 | 0.94 | 0.029396 |
| 119 | 0.98 | 0.06 | 64 | -1.23006 | 0.94 | 0.0190626 |
| 120 | 0.99 | 0.06 | 75 | -1.25332 | 0.94 | 0.00965137 |
| 121 | 0.9 | 0.065 | 35 | -1.23093 | 0.935 | 0.0951495 |
| 122 | 0.91 | 0.065 | 36 | -0.949038 | 0.935 | 0.0889648 |
| 123 | 0.92 | 0.065 | 38 | -1.2545 | 0.935 | 0.0777752 |
| 124 | 0.93 | 0.065 | 40 | -1.25246 | 0.935 | 0.067993 |
| 125 | 0.94 | 0.065 | 42 | -1.25545 | 0.935 | 0.0594412 |
| 126 | 0.95 | 0.065 | 45 | -0.986129 | 0.935 | 0.0485873 |
| 127 | 0.96 | 0.065 | 48 | -1.25303 | 0.935 | 0.0397153 |
| 128 | 0.97 | 0.065 | 53 | -1.14581 | 0.935 | 0.0283802 |
| 129 | 0.98 | 0.065 | 59 | -1.18903 | 0.935 | 0.018962 |
| 130 | 0.99 | 0.065 | 69 | -1.25571 | 0.935 | 0.0096828 |
| 131 | 0.9 | 0.07 | 32 | -1.14095 | 0.93 | 0.0980515 |
| 132 | 0.91 | 0.07 | 34 | -1.25027 | 0.93 | 0.0848048 |
| 133 | 0.92 | 0.07 | 35 | -1.25528 | 0.93 | 0.0788684 |
| 134 | 0.93 | 0.07 | 37 | -1.1991 | 0.93 | 0.0682133 |
| 135 | 0.94 | 0.07 | 39 | -1.15637 | 0.93 | 0.0589977 |
| 136 | 0.95 | 0.07 | 42 | -1.25027 | 0.93 | 0.0474552 |
| 137 | 0.96 | 0.07 | 45 | -1.2547 | 0.93 | 0.0381709 |
| 138 | 0.97 | 0.07 | 49 | -1.25271 | 0.93 | 0.0285538 |
| 139 | 0.98 | 0.07 | 54 | -1.14491 | 0.93 | 0.0198646 |
| 140 | 0.99 | 0.07 | 64 | -1.25559 | 0.93 | 0.0096141 |
| 141 | 0.9 | 0.075 | 30 | -1.25111 | 0.925 | 0.0964388 |
| 142 | 0.91 | 0.075 | 31 | -1.25233 | 0.925 | 0.0892059 |
| 143 | 0.92 | 0.075 | 33 | -1.24628 | 0.925 | 0.0763268 |
| 144 | 0.93 | 0.075 | 35 | -1.25095 | 0.925 | 0.0653071 |
| 145 | 0.94 | 0.075 | 37 | -1.25315 | 0.925 | 0.0558784 |
| 146 | 0.95 | 0.075 | 39 | -1.25069 | 0.925 | 0.047811 |
| 147 | 0.96 | 0.075 | 42 | -1.23603 | 0.925 | 0.0378401 |
| 148 | 0.97 | 0.075 | 45 | -1.2468 | 0.925 | 0.0299487 |
| 149 | 0.98 | 0.075 | 51 | -1.17997 | 0.925 | 0.0187598 |
| 150 | 0.99 | 0.075 | 60 | -1.23686 | 0.925 | 0.00930045 |
| 151 | 0.9 | 0.08 | 28 | -1.16331 | 0.92 | 0.096841 |
| 152 | 0.91 | 0.08 | 29 | -1.15048 | 0.92 | 0.0890937 |
| 153 | 0.92 | 0.08 | 31 | -1.23571 | 0.92 | 0.0754089 |
| 154 | 0.93 | 0.08 | 32 | -1.24822 | 0.92 | 0.0693762 |
| 155 | 0.94 | 0.08 | 34 | -1.24666 | 0.92 | 0.05872 |
| 156 | 0.95 | 0.08 | 36 | -1.24393 | 0.92 | 0.0497006 |
| 157 | 0.96 | 0.08 | 39 | -1.24 | 0.92 | 0.0387013 |
| 158 | 0.97 | 0.08 | 43 | -1.10152 | 0.92 | 0.0277253 |
| 159 | 0.98 | 0.08 | 47 | -1.22715 | 0.92 | 0.0198622 |
| 160 | 0.99 | 0.08 | 56 | -1.2543 | 0.92 | 0.00937817 |
| 161 | 0.9 | 0.085 | 26 | -1.25568 | 0.915 | 0.0992998 |
| 162 | 0.91 | 0.085 | 28 | -1.25457 | 0.915 | 0.0831363 |
| 163 | 0.92 | 0.085 | 29 | -1.21635 | 0.915 | 0.0760697 |
| 164 | 0.93 | 0.085 | 30 | -1.25267 | 0.915 | 0.0696038 |
| 165 | 0.94 | 0.085 | 32 | -1.24947 | 0.915 | 0.058274 |
| 166 | 0.95 | 0.085 | 34 | -1.25547 | 0.915 | 0.0487885 |
| 167 | 0.96 | 0.085 | 37 | -1.25524 | 0.915 | 0.0373749 |
| 168 | 0.97 | 0.085 | 40 | -1.2557 | 0.915 | 0.0286315 |
| 169 | 0.98 | 0.085 | 45 | -1.21641 | 0.915 | 0.0183632 |
| 170 | 0.99 | 0.085 | 52 | -1.24623 | 0.915 | 0.00986045 |
| 171 | 0.9 | 0.09 | 25 | -1.25064 | 0.91 | 0.0946313 |
| 172 | 0.91 | 0.09 | 26 | -0.93822 | 0.91 | 0.0861145 |
| 173 | 0.92 | 0.09 | 27 | -1.24058 | 0.91 | 0.0783642 |
| 174 | 0.93 | 0.09 | 29 | -1.23833 | 0.91 | 0.0648934 |
| 175 | 0.94 | 0.09 | 30 | -1.25572 | 0.91 | 0.059053 |
| 176 | 0.95 | 0.09 | 32 | -1.22899 | 0.91 | 0.0489018 |
| 177 | 0.96 | 0.09 | 35 | -1.20677 | 0.91 | 0.036851 |
| 178 | 0.97 | 0.09 | 38 | -1.24478 | 0.91 | 0.0277698 |
| 179 | 0.98 | 0.09 | 42 | -1.23487 | 0.91 | 0.0190431 |
| 180 | 0.99 | 0.09 | 49 | -1.24046 | 0.91 | 0.00984075 |
| 181 | 0.9 | 0.095 | 24 | -1.02243 | 0.905 | 0.09111 |
| 182 | 0.91 | 0.095 | 25 | -1.21798 | 0.905 | 0.0824545 |
| 183 | 0.92 | 0.095 | 26 | -1.08995 | 0.905 | 0.0746213 |
| 184 | 0.93 | 0.095 | 27 | -1.24763 | 0.905 | 0.0675323 |
| 185 | 0.94 | 0.095 | 29 | -1.24992 | 0.905 | 0.0553107 |
| 186 | 0.95 | 0.095 | 31 | -1.25425 | 0.905 | 0.0453008 |
| 187 | 0.96 | 0.095 | 33 | -1.24958 | 0.905 | 0.0371025 |
| 188 | 0.97 | 0.095 | 36 | -1.22523 | 0.905 | 0.027501 |
| 189 | 0.98 | 0.095 | 40 | -1.22079 | 0.905 | 0.0184477 |
| 190 | 0.99 | 0.095 | 47 | -1.25551 | 0.905 | 0.00917241 |
| 191 | 0.9 | 0.1 | 22 | -1.21164 | 0.9 | 0.0984771 |
| 192 | 0.91 | 0.1 | 23 | -1.15591 | 0.9 | 0.0886294 |
| 193 | 0.92 | 0.1 | 24 | -1.18677 | 0.9 | 0.0797664 |
| 194 | 0.93 | 0.1 | 26 | -1.18495 | 0.9 | 0.0646108 |
| 195 | 0.94 | 0.1 | 27 | -1.18505 | 0.9 | 0.0581497 |
| 196 | 0.95 | 0.1 | 29 | -0.97979 | 0.9 | 0.0471013 |
| 197 | 0.96 | 0.1 | 31 | -0.983057 | 0.9 | 0.038152 |
| 198 | 0.97 | 0.1 | 34 | -1.25279 | 0.9 | 0.0278128 |
| 199 | 0.98 | 0.1 | 38 | -1.25254 | 0.9 | 0.018248 |
| 200 | 0.99 | 0.1 | 44 | -1.24501 | 0.9 | 0.00969774 |

# 4. Выводы

Как видно из полученных результатов, применимость метода случайного поиска не зависит от того, является ли функция унимодальной или мультимодальной. Для увеличения вероятности попадания в заданный интервал или для уменьшения интервала неопределенности необходимо увеличивать число случайных точек.

# 5. Контрольные вопросы

*Вопрос: Поясните принцип разбиения интервала при случайном поиске.*

*Ответ: Имеем n-мерное пространство, ограниченное какими-либо определёнными интервалами [Ai,Bi], i = от 1 до n. И есть заданная точность Ei, i = от 1 до n. Тогда данное пространство разбивается на меньшие подпространства, ограниченные уже заданной точностью Ei. (Если n = 2, то мы получаем плоскость, в частности прямоугольник, разбитый на части сеткой из меньших прямоугольников длинной Ei, аналогично и для всех остальных случаев.) Далее уже просчитывается вероятность попадания в зависимости от количества экспериментов значений функции от выбранных нами случайных точек именно в нужные подпространства.*

**Приложение 1. Исходный код программы «Случайный поиск»**

## *Файл random\_search* *****.cpp*****

#include <cmath>

#include <vector>

#include <iostream>

#include <algorithm>

#include <map>

#include <random>

double used\_f(double x) {

return (-sqrt(x))\*sin(x);

}

double used\_g(double x) {

return sin(5 \* x) \* used\_f(x);

}

int search\_N(double q, double P) {

return (ceil(log(1 - P) / log(1 - q)));

}

double fRand(double fMin, double fMax)

{

double f = (double)rand() / RAND\_MAX;

return fMin + f \* (fMax - fMin);

}

int main() {

double a = 0.;

double b = 3.;

std::vector<double> P;

std::vector<double> q;

int N;

int max\_N\_length = 3;

int max\_qP\_length = 5;

int max\_f\_length = 8;

int max\_g\_length = 10;

for (auto i = 0; i < 10; ++i) {

P.push\_back(0.9 + i / 100.);

q.push\_back(0.005 + i / 100.);

q.push\_back(0.01 + i / 100.);

}

std::vector<double> ::iterator it\_P = P.begin();

std::vector<double> ::iterator it\_q = q.begin();

std::map<double, double> values;

double Xi, Pn, P1;

for (auto i = 0; i < 20; ++i) {

for (auto j = 0; j < 10; ++j) {

N = search\_N(\*it\_q, \*it\_P);

for (auto k = 0; k < N; ++k) {

Xi = fRand(a, b);

values.insert(std::make\_pair(used\_f(Xi), Xi));

}

P1 = 1 - \*it\_q;

Pn = pow(P1, N);

std::map<double, double> ::iterator it = values.begin();

std::cout << "\nP = " << \*it\_P << " q = " << \*it\_q

<< " N = " << N << " min: " << it->first

<< " P1 = " << P1 << " Pn = " << Pn;

values.clear();

++it\_P;

}

++it\_q;

it\_P = P.begin();

}

std::cout << "\n";

it\_q = q.begin();

for (auto i = 0; i < 20; ++i) {

for (auto j = 0; j < 10; ++j) {

N = search\_N(\*it\_q, \*it\_P);

for (auto i = 0; i < N; ++i) {

Xi = fRand(a, b);

values.insert(std::make\_pair(used\_g(Xi), Xi));

}

P1 = 1 - \*it\_q;

Pn = pow(P1, N);

std::map<double, double> ::iterator it = values.begin();

std::cout << "\nP = " << \*it\_P << " q = " << \*it\_q

<< " N = " << N << " min: " << it->first

<< " P1 = " << P1 << " Pn = " << Pn;

values.clear();

++it\_P;

}

++it\_q;

it\_P = P.begin();

}

std::cout << "\n";

system("pause");

return 0;

}

**Приложение 2. Ссылка на git-репозиторий**

https://github.com/PolkaBBB/lab\_SA02