**Министерство образования Российской Федерации**

**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

**им. Н.Э. БАУМАНА**

Факультет: Информатика и системы управления Кафедра: Информационная безопасность (ИУ8)

МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Лабораторная работа №3 на тему:

«Исследование алгоритма имитации отжига»

Вариант 5

**Преподаватель:**

Коннова Н. С.

**Студент**:

Григорьев А. С.

**Группа:**

ИУ8-32

Москва 2020

# Цель работы

# Изучение метода имитации отжига для поиска экстремума на примере унимодальной и мультимодальной функций одного переменного.

# Постановка задачи

1. На интервале [-2, 4] задана унимодальная функция одного переменного

f (x) = -cos (0,5x) - 1. Используя метод имитации отжига осуществить поиск минимума f (x).

1. При аналогичных исходных условиях осуществить поиск минимума f (x) ,

модулированной сигналом sin5x, т.е. мультимодальной функции f (x)\*sin5x .

# Ход работы

Реализовываем алгоритм имитации отжига следующим образом:

1. Изначально задаются начальная температура () и конечная температура ().

2. Случайно выбирается точка на отрезке. Вычисляется значение функции в этой точке ).

3. Пока > .

1) Случайно выбирается точка на отрезке. Вычисляется значение функции в этой точке )

2) Определяется .

3) Если , то осуществляется переход в точку .

4) Если , то переход осуществляется с вероятностью .

5) Понижение температуры .

В качестве начальной температуры возьмем , конечной – .

**Рис. 1** График функции f(x) = -cos (0,5x) - 1

# 

**Табл. 1** Результаты поиска экстремума f(x).

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N | T | x | f(x) |
| 1 | 10 000 | 1,6509 | -1,6782 |
| 2 | 9 500 | 0,5485 | -1,9626 |
| 3 | 9 025 | -1,3066 | -1,7941 |
| 4 | 8 573,75 | 0,8968 | -1,9011 |
| 5 | 8 145,06 | 1,8966 | -1,5831 |
| 6 | 7 737,81 | 1,6778 | -1,6683 |
| 7 | 7 350,92 | 0,3887 | -1,9812 |
| 8 | 6 983,37 | 2,8982 | -1,1214 |
| 9 | 6 634,2 | -1,2641 | -1,8068 |
| 10 | 6 302,49 | 0,9620 | -1,8865 |
| 11 | 5 987,37 | 0,3046 | -1,9884 |
| 12 | 5 688 | -0,7873 | -1,9235 |
| 13 | 5 403,6 | 3,6307 | -0,7579 |
| 14 | 5 133,42 | 2,2110 | -1,4487 |
| 15 | 4 876,75 | -0,9850 | -1,8812 |
| 16 | 4 632,91 | 3,1090 | -1,0163 |
| 17 | 4 401,27 | -0,9986 | -1,8779 |
| 18 | 4 181,2 | 1,4863 | -1,7364 |
| 19 | 3 972,14 | -1,5734 | -1,7062 |
| 20 | 3 773,54 | 3,7054 | -0,7218 |
| 21 | 3 584,86 | 1,3775 | -1,7721 |
| 22 | 3 405,62 | 2,8519 | -1,1443 |
| 23 | 3 235,34 | -1,2851 | -1,8006 |
| 24 | 3 073,57 | 0,6844 | -1,9420 |
| 25 | 2 919,89 | 1,6522 | -1,6778 |
| 26 | 2 773,9 | 1,4057 | -1,7630 |
| 27 | 2 635,2 | 1,6262 | -1,6873 |
| 28 | 2 503,44 | -0,7391 | -1,9325 |
| 29 | 2 378,27 | -0,4968 | -1,9693 |
| 30 | 2 259,36 | -1,8187 | -1,6143 |
| 31 | 2 146,39 | 3,4737 | -0,8347 |
| 32 | 2 039,07 | -1,4838 | -1,7372 |
| 33 | 1 937,11 | 0,4841 | -1,9709 |
| 34 | 1 840,26 | -0,3747 | -1,9825 |
| 35 | 1 748,25 | 0,1657 | -1,9966 |
| 36 | 1 660,83 | -1,6440 | -1,6808 |
| 37 | 1 577,79 | -1,4377 | -1,7526 |
| 38 | 1 498,9 | 2,6635 | -1,2368 |
| 39 | 1 423,96 | -1,9390 | -1,5657 |
| 40 | 1 352,76 | 0,4081 | -1,9793 |
| 41 | 1 285,12 | -1,4514 | -1,7480 |
| 42 | 1 220,87 | -0,7682 | -1,9271 |
| 43 | 1 159,82 | -1,3075 | -1,7938 |
| 44 | 1 101,83 | 3,9575 | -0,6033 |
| 45 | 1 046,74 | -0,2269 | -1,9936 |
| 46 | 994,40 | -1,5975 | -1,6976 |
| 47 | 944,68 | 0,6286 | -1,9510 |
| 48 | 897,45 | 2,9869 | -1,0773 |
| 49 | 852,58 | 1,2385 | -1,8143 |
| 50 | 809,95 | -1,8277 | -1,6107 |
| 51 | 769,45 | 3,9680 | -0,5985 |
| 52 | 730,98 | 2,4525 | -1,3378 |
| 53 | 694,43 | 2,5877 | -1,2734 |
| 54 | 659,71 | -0,8942 | -1,9017 |
| 55 | 626,72 | -0,8671 | -1,9075 |
| 56 | 595,39 | -0,1068 | -1,9986 |
| 57 | 565,62 | 0,3109 | -1,9879 |
| 58 | 537,34 | 3,6594 | -0,7440 |
| 59 | 510,47 | -1,1720 | -1,8332 |
| 60 | 484,95 | 3,6891 | -0,7297 |
| 61 | 460,70 | 0,3784 | -1,9822 |
| 62 | 437,66 | 3,4098 | -0,8663 |
| 63 | 415,78 | 0,9124 | -1,8977 |
| 64 | 394,99 | 2,7083 | -1,2149 |
| 65 | 375,24 | -1,7158 | -1,6540 |
| 66 | 356,48 | -0,1575 | -1,9969 |
| 67 | 338,66 | 0,2653 | -1,9912 |
| 68 | 321,72 | -0,0228 | -1,9999 |
| 69 | 305,64 | -0,8953 | -1,9015 |
| 70 | 290,36 | 2,9991 | -1,0712 |
| 71 | 275,84 | -0,9290 | -1,8941 |
| 72 | 262,05 | -0,8025 | -1,9206 |
| 73 | 248,94 | -0,8876 | -1,9031 |
| 74 | 236,50 | 1,6331 | -1,6847 |
| 75 | 224,67 | -1,7891 | -1,6259 |
| 76 | 213,44 | 1,4308 | -1,7548 |
| 77 | 202,77 | 1,1799 | -1,8310 |
| 78 | 192,63 | 3,5056 | -0,8190 |
| 79 | 183,00 | -1,5785 | -1,7044 |
| 80 | 173,85 | 3,7380 | -0,7062 |
| 81 | 165,15 | 3,0680 | -1,0368 |
| 82 | 156,90 | -1,0229 | -1,8720 |
| 83 | 149,05 | 2,8812 | -1,1298 |
| 84 | 141,60 | 0,7382 | -1,9326 |
| 85 | 134,52 | -0,3057 | -1,9883 |
| 86 | 127,79 | 3,9471 | -0,6081 |
| 87 | 121,40 | 1,1114 | -1,8495 |
| 88 | 115,33 | -0,8909 | -1,9024 |
| 89 | 109,57 | 0,6899 | -1,9411 |
| 90 | 104,09 | -0,3641 | -1,9835 |
| 91 | 98,88 | -0,4998 | -1,9689 |
| 92 | 93,94 | 0,6218 | -1,9521 |
| 93 | 89,24 | 0,7512 | -1,9303 |
| 94 | 84,78 | -1,4813 | -1,7381 |
| 95 | 80,54 | -1,6889 | -1,6641 |
| 96 | 76,51 | -0,4644 | -1,9732 |
| 97 | 72,69 | -0,9984 | -1,8780 |
| 98 | 69,05 | -0,4143 | -1,9786 |
| 99 | 65,60 | -1,6404 | -1,6821 |
| 100 | 62,32 | -1,3584 | -1,7781 |
| 101 | 59,21 | 3,4142 | -0,8641 |
| 102 | 56,25 | -0,3504 | -1,9847 |
| 103 | 53,43 | 1,8386 | -1,6064 |
| 104 | 50,76 | 3,5875 | -0,7789 |
| 105 | 48,22 | 3,9149 | -0,6229 |
| 106 | 45,81 | -0,2088 | -1,9946 |
| 107 | 43,52 | 2,3225 | -1,3982 |
| 108 | 41,35 | 3,8140 | -0,6701 |
| 109 | 39,28 | -1,0654 | -1,8614 |
| 110 | 37,31 | 1,9977 | -1,5413 |
| 111 | 35,45 | 3,0857 | -1,0279 |
| 112 | 33,68 | 3,6896 | -0,7294 |
| 113 | 31,99 | 3,7001 | -0,7244 |
| 114 | 30,39 | 2,4436 | -1,3420 |
| 115 | 28,87 | -0,6525 | -1,9473 |
| 116 | 27,43 | -1,8656 | -1,5956 |
| 117 | 26,06 | 2,6770 | -1,2302 |
| 118 | 24,75 | -1,5052 | -1,7299 |
| 119 | 23,52 | 1,9861 | -1,5461 |
| 120 | 22,34 | 0,4628 | -1,9733 |
| 121 | 21,22 | 3,9451 | -0,6090 |
| 122 | 20,16 | 3,2071 | -0,9672 |
| 123 | 19,15 | 0,6787 | -1,9430 |
| 124 | 18,20 | -1,6439 | -1,6808 |
| 125 | 17,29 | 1,7715 | -1,6327 |
| 126 | 16,42 | 2,8107 | -1,1647 |
| 127 | 15,60 | 2,7177 | -1,2104 |
| 128 | 14,82 | 3,0714 | -1,0351 |
| 129 | 14,08 | -1,0810 | -1,8575 |
| 130 | 13,38 | -0,1288 | -1,9979 |
| 131 | 12,71 | -1,5867 | -1,7015 |
| 132 | 12,07 | 0,4511 | -1,9747 |
| 133 | 11,47 | 0,5870 | -1,9572 |
| 134 | 10,90 | -1,3069 | -1,7940 |
| 135 | 10,35 | 0,5037 | -1,9685 |
| 136 | 9,83 | 2,5012 | -1,3147 |
| 137 | 9,34 | 2,9189 | -1,1111 |
| 138 | 8,87 | 1,9887 | -1,5450 |
| 139 | 8,43 | 2,8347 | -1,1529 |
| 140 | 8,01 | -1,4639 | -1,7439 |
| 141 | 7,61 | 2,3309 | -1,3943 |
| 142 | 7,23 | 1,2726 | -1,8043 |
| 143 | 6,87 | 3,0680 | -1,0368 |
| 144 | 6,52 | 1,2341 | -1,8156 |
| 145 | 6,20 | 0,7366 | -1,9329 |
| 146 | 5,89 | 3,7257 | -0,7121 |
| 147 | 5,59 | -1,2373 | -1,8147 |
| 148 | 5,31 | 1,6780 | -1,6682 |
| 149 | 5,05 | 1,9338 | -1,5679 |
| 150 | 4,80 | 0,0595 | -1,9996 |
| 151 | 4,56 | -0,7895 | -1,9231 |
| 152 | 4,33 | 0,3901 | -1,9810 |
| 153 | 4,11 | -0,7526 | -1,9300 |
| 154 | 3,91 | -0,7526 | -1,9300 |
| 155 | 3,71 | -0,6071 | -1,9543 |
| 156 | 3,53 | 2,7532 | -1,1930 |
| 157 | 3,35 | 0,3999 | -1,9801 |
| 158 | 3,18 | -1,4986 | -1,7322 |
| 159 | 3,02 | -1,6589 | -1,6753 |
| 160 | 2,87 | 3,8691 | -0,6442 |
| 161 | 2,73 | -1,2811 | -1,8018 |
| 162 | 2,59 | -1,8826 | -1,5887 |
| 163 | 2,46 | 2,0023 | -1,5394 |
| 164 | 2,34 | 2,4545 | -1,3368 |
| 165 | 2,22 | 2,4545 | -1,3368 |
| 166 | 2,11 | 0,5921 | -1,9565 |
| 167 | 2,01 | 0,2014 | -1,9949 |
| 168 | 1,90 | 2,5538 | -1,2897 |
| 169 | 1,81 | -0,1083 | -1,9985 |
| 170 | 1,72 | 2,2637 | -1,4250 |
| 171 | 1,63 | 3,4739 | -0,8346 |
| 172 | 1,55 | 1,3764 | -1,7724 |
| 173 | 1,47 | 1,3764 | -1,7724 |
| 174 | 1,40 | 1,3764 | -1,7724 |
| 175 | 1,33 | 3,1403 | -1,0007 |
| 176 | 1,26 | -0,0442 | -1,9998 |
| 177 | 1,20 | 2,8667 | -1,1370 |
| 178 | 1,14 | -1,2401 | -1,8139 |
| 179 | 1,08 | 0,0640 | -1,9995 |
| 180 | 1,03 | 0,2070 | -1,9947 |
| 181 | 0,98 | 0,2070 | -1,9947 |
| 182 | 0,93 | 0,2070 | -1,9947 |
| 183 | 0,88 | 0,2070 | -1,9947 |
| 184 | 0,84 | -0,0499 | -1,9997 |
| 185 | 0,80 | 0,0340 | -1,9999 |
| 186 | 0,76 | 0,9772 | -1,8830 |
| 187 | 0,72 | -1,3866 | -1,7692 |
| 188 | 0,68 | -1,3866 | -1,7692 |
| 189 | 0,65 | -1,1233 | -1,8464 |
| 190 | 0,62 | -0,9195 | -1,8962 |
| 191 | 0,59 | -1,4311 | -1,7547 |
| 192 | 0,56 | -1,4311 | -1,7547 |
| 193 | 0,53 | -0,8501 | -1,9110 |
| 194 | 0,50 | -1,1145 | -1,8487 |
| 195 | 0,48 | -1,1145 | -1,8487 |
| 196 | 0,45 | -1,1145 | -1,8487 |
| 197 | 0,43 | -1,1456 | -1,8404 |
| 198 | 0,41 | 2,3903 | -1,3669 |
| 199 | 0,39 | -0,2786 | -1,9903 |
| 200 | 0,37 | -0,2786 | -1,9903 |
| 201 | 0,35 | -0,2786 | -1,9903 |
| 202 | 0,33 | -0,2786 | -1,9903 |
| 203 | 0,32 | -1,9881 | -1,5453 |
| 204 | 0,30 | 2,0039 | -1,5387 |
| 205 | 0,29 | 0,4550 | -1,9742 |
| 206 | 0,27 | 0,4550 | -1,9742 |
| 207 | 0,26 | 0,4550 | -1,9742 |
| 208 | 0,24 | 0,4550 | -1,9742 |
| 209 | 0,23 | 0,4550 | -1,9742 |
| 210 | 0,22 | -1,1632 | -1,8356 |
| 211 | 0,21 | 0,4044 | -1,9796 |
| 212 | 0,20 | 0,4044 | -1,9796 |
| 213 | 0,19 | 0,4044 | -1,9796 |
| 214 | 0,18 | 0,4044 | -1,9796 |
| 215 | 0,17 | 0,4044 | -1,9796 |
| 216 | 0,16 | -0,0034 | -2,0000 |
| 217 | 0,15 | -0,0034 | -2,0000 |
| 218 | 0,15 | -0,0034 | -2,0000 |
| 219 | 0,14 | -0,0034 | -2,0000 |
| 220 | 0,13 | -0,0034 | -2,0000 |
| 221 | 0,13 | -0,0700 | -1,9994 |
| 222 | 0,12 | -0,0700 | -1,9994 |
| 223 | 0,11 | -0,0700 | -1,9994 |
| 224 | 0,11 | -0,0700 | -1,9994 |
| 225 | 0,10 | 0,0728 | -1,9993 |

# = 0,0728172, = -1,99934

# Аналогичные вычисления требуется проделать для мультимодальной функции.

**Рис. 2** График функции f(x) \* sin5x

# 

# Табл. 2 Результаты поиска экстремума f(x) \* sin5x.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| N | T | x | f(x) |
| 1 | 10 000 | 1,5727 | -1,7064 |
| 2 | 9 500 | -0,1530 | 1,3828 |
| 3 | 9 025 | -1,6887 | 1,3833 |
| 4 | 8 573,75 | -0,0715 | 0,6994 |
| 5 | 8 145,06 | -1,9879 | -0,7609 |
| 6 | 7 737,81 | -1,4067 | 1,2020 |
| 7 | 7 350,92 | 3,8931 | -0,3656 |
| 8 | 6 983,37 | 1,0607 | 1,5466 |
| 9 | 6 634,2 | -0,1116 | 1,0580 |
| 10 | 6 302,49 | -1,3316 | 0,6544 |
| 11 | 5 987,37 | 2,2971 | 1,2441 |
| 12 | 5 688 | -0,0982 | 0,9425 |
| 13 | 5 403,6 | 2,1702 | 1,4515 |
| 14 | 5 133,42 | 0,0052 | -0,0525 |
| 15 | 4 876,75 | -1,3998 | 1,1579 |
| 16 | 4 632,91 | 1,1825 | 0,6633 |
| 17 | 4 401,27 | -0,8567 | -1,7365 |
| 18 | 4 181,2 | -1,2247 | -0,2891 |
| 19 | 3 972,14 | -1,2253 | -0,2841 |
| 20 | 3 773,54 | 0,1843 | -1,5898 |
| 21 | 3 584,86 | 1,1429 | 0,9913 |
| 22 | 3 405,62 | 1,8356 | -0,3925 |
| 23 | 3 235,34 | 3,0326 | -0,5465 |
| 24 | 3 073,57 | 0,5559 | -0,6952 |
| 25 | 2 919,89 | 1,3590 | -0,8707 |
| 26 | 2 773,9 | 1,6838 | -1,4070 |
| 27 | 2 635,2 | -1,0506 | -1,5993 |
| 28 | 2 503,44 | 2,1044 | 1,3312 |
| 29 | 2 378,27 | 0,4658 | -1,4327 |
| 30 | 2 259,36 | -0,8497 | -1,7091 |
| 31 | 2 146,39 | -1,7682 | 0,9008 |
| 32 | 2 039,07 | 0,7710 | 1,2609 |
| 33 | 1 937,11 | -0,3619 | 1,9275 |
| 34 | 1 840,26 | 3,4684 | 0,8356 |
| 35 | 1 748,25 | 0,9428 | 1,8909 |
| 36 | 1 660,83 | 1,3727 | -0,9726 |
| 37 | 1 577,79 | 3,0108 | -0,6479 |
| 38 | 1 498,9 | 1,5031 | -1,6324 |
| 39 | 1 423,96 | -1,8579 | 0,2156 |
| 40 | 1 352,76 | 2,5227 | -0,0612 |
| 41 | 1 285,12 | 3,6962 | 0,2616 |
| 42 | 1 220,87 | -1,8857 | -0,0062 |
| 43 | 1 159,82 | -1,3648 | 0,9143 |
| 44 | 1 101,83 | 0,6886 | 0,5765 |
| 45 | 1 046,74 | 0,8433 | 1,6823 |
| 46 | 994,40 | 0,3257 | -1,9835 |
| 47 | 944,68 | 0,7650 | 1,2171 |
| 48 | 897,45 | 2,2696 | 1,3349 |
| 49 | 852,58 | 3,0092 | -0,6554 |
| 50 | 809,95 | 0,6388 | 0,1022 |
| 51 | 769,45 | 3,2677 | 0,5526 |
| 52 | 730,98 | 1,2804 | -0,2139 |
| 53 | 694,43 | 1,5487 | -1,7044 |
| 54 | 659,71 | 1,7873 | -0,7631 |
| 55 | 626,72 | 2,7622 | -1,1259 |
| 56 | 595,39 | -1,2262 | -0,2758 |
| 57 | 565,62 | 0,2025 | -1,6918 |
| 58 | 537,34 | 3,6999 | 0,2485 |
| 59 | 510,47 | -0,4205 | 1,7050 |
| 60 | 484,95 | 1,5302 | -1,6860 |
| 61 | 460,70 | 0,2363 | -1,8440 |
| 62 | 437,66 | -1,7858 | 0,7744 |
| 63 | 415,78 | 1,0563 | 1,5699 |
| 64 | 394,99 | 1,5024 | -1,6306 |
| 65 | 375,24 | -0,4057 | 1,7760 |
| 66 | 356,48 | 2,6622 | -0,8386 |
| 67 | 338,66 | 3,2073 | 0,3121 |
| 68 | 321,72 | 2,0735 | 1,2210 |
| 69 | 305,64 | 2,1118 | 1,3524 |
| 70 | 290,36 | 2,7759 | -1,1428 |
| 71 | 275,84 | -1,8652 | 0,1571 |
| 72 | 262,05 | 2,4630 | 0,3317 |
| 73 | 248,94 | 2,3824 | 0,8342 |
| 74 | 236,50 | 3,7274 | 0,1502 |
| 75 | 224,67 | 1,6838 | -1,4070 |
| 76 | 213,44 | -1,2361 | -0,1864 |
| 77 | 202,77 | 1,2358 | 0,1892 |
| 78 | 192,63 | -1,5688 | 1,7077 |
| 79 | 183,00 | -0,1473 | 1,3415 |
| 80 | 173,85 | 2,7067 | -1,0008 |
| 81 | 165,15 | 1,6446 | -1,5673 |
| 82 | 156,90 | 2,8957 | -1,0580 |
| 83 | 149,05 | 3,8943 | -0,3686 |
| 84 | 141,60 | 2,2830 | 1,2936 |
| 85 | 134,52 | 3,7863 | -0,0560 |
| 86 | 127,79 | -0,4311 | 1,6484 |
| 87 | 121,40 | -0,2299 | 1,8190 |
| 88 | 115,33 | 0,0302 | -0,3004 |
| 89 | 109,57 | 3,7783 | -0,0286 |
| 90 | 104,09 | 1,7280 | -1,1658 |
| 91 | 98,88 | 1,4874 | -1,5871 |
| 92 | 93,94 | 2,0059 | 0,8744 |
| 93 | 89,24 | 2,0889 | 1,2799 |
| 94 | 84,78 | 2,2929 | 1,2595 |
| 95 | 80,54 | 3,9998 | -0,5329 |
| 96 | 76,51 | -1,8687 | 0,1294 |
| 97 | 72,69 | -1,2097 | -0,4239 |
| 98 | 69,05 | -0,2725 | 1,9478 |
| 99 | 65,60 | -0,6994 | -0,6745 |
| 100 | 62,32 | 2,8997 | -1,0483 |
| 101 | 59,21 | 3,0363 | -0,5290 |
| 102 | 56,25 | 0,9126 | 1,8765 |
| 103 | 53,43 | 2,6043 | -0,5564 |
| 104 | 50,76 | 0,6588 | 0,2952 |
| 105 | 48,22 | 3,2710 | 0,5640 |
| 106 | 45,81 | 3,5173 | 0,7750 |
| 107 | 43,52 | 3,9434 | -0,4651 |
| 108 | 41,35 | 1,8801 | -0,0384 |
| 109 | 39,28 | -0,9328 | -1,8910 |
| 110 | 37,31 | 3,9224 | -0,4278 |
| 111 | 35,45 | 1,5340 | -1,6910 |
| 112 | 33,68 | -1,5534 | 1,7068 |
| 113 | 31,99 | 2,8869 | -1,0776 |
| 114 | 30,39 | 2,4494 | 0,4204 |
| 115 | 28,87 | 1,2032 | 0,4820 |
| 116 | 27,43 | -0,8096 | -1,5109 |
| 117 | 26,06 | 2,8827 | -1,0863 |
| 118 | 24,75 | 0,8710 | 1,7862 |
| 119 | 23,52 | 0,9944 | 1,8159 |
| 120 | 22,34 | -1,7109 | 1,2661 |
| 121 | 21,22 | -0,7499 | -1,1026 |
| 122 | 20,16 | 0,6436 | 0,1485 |
| 123 | 19,15 | 1,6404 | -1,5811 |
| 124 | 18,20 | 3,5684 | 0,6664 |
| 125 | 17,29 | 3,4307 | 0,8492 |
| 126 | 16,42 | 0,5976 | -0,2991 |
| 127 | 15,60 | -0,3084 | 1,9873 |
| 128 | 14,82 | 3,9645 | -0,4959 |
| 129 | 14,08 | -0,6276 | 0,0072 |
| 130 | 13,38 | -0,6276 | 0,0072 |
| 131 | 12,71 | 3,4197 | 0,8474 |
| 132 | 12,07 | 2,1350 | 1,4068 |
| 133 | 11,47 | 3,1344 | -0,0359 |
| 134 | 10,90 | -0,5217 | 0,9988 |
| 135 | 10,35 | 3,6614 | 0,3835 |
| 136 | 9,83 | 3,1341 | -0,0378 |
| 137 | 9,34 | -0,0638 | 0,6269 |
| 138 | 8,87 | 1,7961 | -0,6978 |
| 139 | 8,43 | 3,0328 | -0,5456 |
| 140 | 8,01 | -1,7535 | 1,0016 |
| 141 | 7,61 | 3,0693 | -0,3667 |
| 142 | 7,23 | -0,1220 | 1,1448 |
| 143 | 6,87 | 3,7314 | 0,1358 |
| 144 | 6,52 | 3,7314 | 0,1358 |
| 145 | 6,20 | 3,4139 | 0,8454 |
| 146 | 5,89 | 3,8943 | -0,3686 |
| 147 | 5,59 | -1,7303 | 1,1516 |
| 148 | 5,31 | -0,8775 | -1,8057 |
| 149 | 5,05 | 2,6690 | -0,8666 |
| 150 | 4,80 | 1,8759 | -0,0719 |
| 151 | 4,56 | -0,2011 | 1,6847 |
| 152 | 4,33 | 3,9876 | -0,5222 |
| 153 | 4,11 | 3,9876 | -0,5222 |
| 154 | 3,91 | 0,5883 | -0,3892 |
| 155 | 3,71 | 0,5883 | -0,3892 |
| 156 | 3,53 | 2,9984 | -0,7034 |
| 157 | 3,35 | -0,3474 | 1,9576 |
| 158 | 3,18 | 1,0858 | 1,3997 |
| 159 | 3,02 | -1,0134 | -1,7577 |
| 160 | 2,87 | 0,1847 | -1,5920 |
| 161 | 2,73 | 0,1847 | -1,5920 |
| 162 | 2,59 | 0,1847 | -1,5920 |
| 163 | 2,46 | 0,1847 | -1,5920 |
| 164 | 2,34 | 0,1847 | -1,5920 |
| 165 | 2,22 | 1,4614 | -1,4899 |
| 166 | 2,11 | 0,1724 | -1,5157 |
| 167 | 2,01 | 0,1724 | -1,5157 |
| 168 | 1,90 | 0,1724 | -1,5157 |
| 169 | 1,81 | -0,9471 | -1,8895 |
| 170 | 1,72 | -1,7275 | 1,1684 |
| 171 | 1,63 | 2,6823 | -0,9185 |
| 172 | 1,55 | 3,3016 | 0,6601 |
| 173 | 1,47 | 3,2712 | 0,5646 |
| 174 | 1,40 | 1,3238 | -0,5898 |
| 175 | 1,33 | 1,3238 | -0,5898 |
| 176 | 1,26 | -0,3751 | 1,8912 |
| 177 | 1,20 | -0,7988 | -1,4464 |
| 178 | 1,14 | 2,9134 | -1,0125 |
| 179 | 1,08 | 0,2103 | -1,7317 |
| 180 | 1,03 | 0,2103 | -1,7317 |
| 181 | 0,98 | -0,7929 | -1,4096 |
| 182 | 0,93 | 2,2235 | 1,4324 |
| 183 | 0,88 | 0,2794 | -1,9602 |
| 184 | 0,84 | 0,2794 | -1,9602 |
| 185 | 0,80 | 0,2794 | -1,9602 |
| 186 | 0,76 | 0,2794 | -1,9602 |
| 187 | 0,72 | 0,2794 | -1,9602 |
| 188 | 0,68 | 0,2794 | -1,9602 |
| 189 | 0,65 | 0,2794 | -1,9602 |
| 190 | 0,62 | 0,2794 | -1,9602 |
| 191 | 0,59 | 0,2794 | -1,9602 |
| 192 | 0,56 | 0,2794 | -1,9602 |
| 193 | 0,53 | 0,2794 | -1,9602 |
| 194 | 0,50 | 0,2794 | -1,9602 |
| 195 | 0,48 | 0,2794 | -1,9602 |
| 196 | 0,45 | 0,2794 | -1,9602 |
| 197 | 0,43 | 0,2794 | -1,9602 |
| 198 | 0,41 | 0,2794 | -1,9602 |
| 199 | 0,39 | 0,2794 | -1,9602 |
| 200 | 0,37 | 0,2794 | -1,9602 |
| 201 | 0,35 | 1,5606 | -1,7085 |
| 202 | 0,33 | 1,5606 | -1,7085 |
| 203 | 0,32 | 1,5606 | -1,7085 |
| 204 | 0,30 | 1,5606 | -1,7085 |
| 205 | 0,29 | 1,5606 | -1,7085 |
| 206 | 0,27 | 1,5606 | -1,7085 |
| 207 | 0,26 | 1,5606 | -1,7085 |
| 208 | 0,24 | 1,5606 | -1,7085 |
| 209 | 0,23 | 1,5606 | -1,7085 |
| 210 | 0,22 | 1,5606 | -1,7085 |
| 211 | 0,21 | 1,5606 | -1,7085 |
| 212 | 0,20 | 1,5606 | -1,7085 |
| 213 | 0,19 | 1,5606 | -1,7085 |
| 214 | 0,18 | -0,8625 | -1,7579 |
| 215 | 0,17 | -0,8625 | -1,7579 |
| 216 | 0,16 | -0,8625 | -1,7579 |
| 217 | 0,15 | -0,8625 | -1,7579 |
| 218 | 0,15 | -0,8625 | -1,7579 |
| 219 | 0,14 | 0,2858 | -1,9698 |
| 220 | 0,13 | 0,2858 | -1,9698 |
| 221 | 0,13 | 0,2858 | -1,9698 |
| 222 | 0,12 | 0,2858 | -1,9698 |
| 223 | 0,11 | 0,2858 | -1,9698 |
| 224 | 0,11 | 0,2858 | -1,9698 |
| 225 | 0,10 | 0,2858 | -1,9698 |

# = 0,285775, = -1,9698

# Выводы

В ходе проделанной работы был освоен метод имитации отжига для нахождения экстремума унимодальной и мультимодальной функций одного переменного. Было выяснено, что этот метод применим для поиска экстремума независимого от того, является ли функция унимодальной или мультимодальной. Это достигается благодаря тому, что алгоритм допускает шаги, приводящие к увеличению значений фитнес-функции.

# Вопросы

1. В чем состоит сущность метода имитации отжига? Какова область применимости данного метода?

Суть метода в том, что задается максимальная и минимальная «температура», и выбирается случайная точка на заданном интервале с целью последующего вычисления значения функции в ней. «Температура» представляет собой случайную величину с математическим ожиданием, ее можно задать несколькими способами, в данной задаче она определяется по формуле  = . Затем выбирается другая случайная точка и также вычисляется значение функции в ней. После сравнивается значение функции в двух этих точках: если меньше нуля, то осуществляется безусловный переход в точку, иначе переход происходит с вероятностью. Вероятность перехода и «температура» нужны для создания случайных флуктуаций, которые могут помочь выбраться из локальных экстремумов, если решение в них «застрянет». Данный способ применим для поиска экстремума как унимодальной, так и мультимодальной функции.

2. В чем выражается преимущество в эффективности метода имитации отжига перед методом случайного поиска?

Метод имитации отжига, более упорядоченный за счет оценки вероятности перехода в нужном направлении. При малом количестве итераций алгоритм отжига с большей вероятностью приведет в точку с наименьшим значением, чем случайный поиск за то же количество итераций.

# Приложение А.

*Файл ‘lab3.cpp’.*

Вариант 5. '''

#include <iostream>

#include <ctime>

#include <cmath>

#include <locale>

double f(double x) {

return -cos(0.5 \* x) - 1;

}

double g(double x) {

return f(x) \* sin(5 \* x);

}

double x\_rand(double xMin, double xMax) {

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

return xMin + x \* (xMax - xMin);

}

int main() {

setlocale(LC\_ALL, "Russian");

std::cout.imbue(std::locale("Russian"));

srand(time(0));

const double a = -2;

const double b = 4;

const double Tmax = 10000;

const double Tmin = 0.1;

double N = 1;

double xi = 0;

double xmin = x\_rand(a, b);

double p = 0;

double Ti = Tmax;

while (Ti > Tmin) {

xi = x\_rand(a, b);

if ((f(xi) - f(xmin)) <= 0) {

xmin = xi;

}

else {

p = exp(-(f(xi) - f(xmin)) / Ti);

if ((rand() % 100 / 100.) <= p) {

xmin = xi;

}

}

std::cout << "N = " << N << " T = " << Ti <<

" Xmin = "<< xmin <<" F(Xmin) = " << f(xmin)<< std::endl;

Ti = Ti \* 0.95;

N++;

}

std::cout << "Xmin = "<< xmin << std::endl;

std::cout << "F(Xmin) = " << f(xmin) << std::endl;

N = 1;

xmin = x\_rand(a, b);

Ti = Tmax;

while (Ti > Tmin) {

xi = x\_rand(a, b);

if ((g(xi) - g(xmin)) <= 0) {

xmin = xi;

}

else {

p = exp(-(g(xi) - g(xmin)) / Ti);

if ((rand() % 100 / 100.) <= p) {

xmin = xi;

}

}

std::cout << "N = " << N << " T = " << Ti <<

" Xmin = " << xmin << " G(Xmin) = " << g(xmin) << std::endl;

Ti = Ti \* 0.95;

N++;

}

std::cout << "Xmin = " << xmin << std::endl;

std::cout << "G(Xmin) = "<< g(xmin);

}