**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 № 3

по дисциплине «Теория систем и системный анализ»

**Тема: «**Исследование алгоритма имитации отжига**»**

Вариант 16

Выполнила: Частиков А.Д., студент группы ИУ8-31

Проверила: Коннова Н.С., доцент каф. ИУ8

г. Москва, 2020 г.

# Цель работы

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

# Условие задачи

1. На интервале [9; 14] задана унимодальная функция одного переменного f(x) = (x \* x) \* exp(sin(x)). Используя метод имитации отжига осуществить поиск минимума f(x).
2. При аналогичных исходных условиях осуществить поиск минимума f(x), модулированной сигналом sin(5x), т.е. мультимодальной функции f(x)\*sin(5x).

# Графики заданных функций

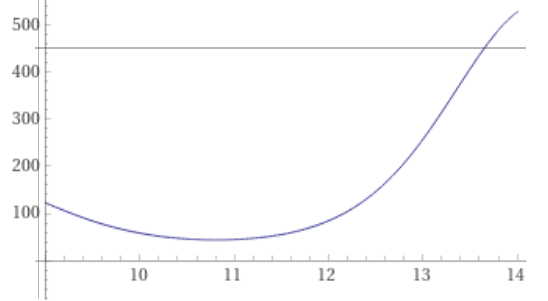


Рисунок 1 – График функции f(x) = (x \* x) \* exp(sin(x)) на отрезке [9; 14]

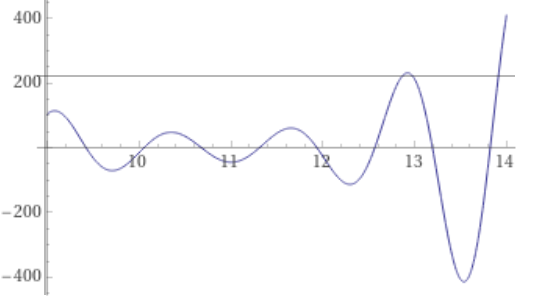


Рисунок 2 – График функции f(x) =(x \* x) \* exp(sin(x))\*sin(5x) на отрезке [9; 14]

# Имитация отжига для заданных функций

Имитация отжига для y = (x \* x) \* exp(sin(x)) на [9; 14]

| N| T| x| f(x)|

| 1| 10000| 10.0379| 56.6726|

| 2| 9500| 12.135| 96.9394|

| 3| 9025| 11.6086| 59.4752|

| 4| 8573.75| 11.2173| 47.4371|

| 5| 8145.06| 11.4523| 53.4576|

| 6| 7737.81| 9.73916| 69.6221|

| 7| 7350.92| 12.6737| 178.777|

| 8| 6983.37| 9.27833| 99.6126|

| 9| 6634.2| 9.62929| 75.6811|

| 10| 6302.49| 10.6425| 44.3182|

| 11| 5987.37| 11.2082| 47.2663|

| 12| 5688| 11.4319| 52.7986|

| 13| 5403.6| 9.86154| 63.706|

| 14| 5133.42| 9.0354| 119.332|

| 15| 4876.75| 11.4557| 53.5685|

| 16| 4632.91| 13.429| 385.441|

| 17| 4401.27| 12.7104| 186.498|

| 18| 4181.2| 9.30641| 97.4658|

| 19| 3972.14| 11.8433| 72.3702|

| 20| 3773.54| 11.4549| 53.5432|

| 21| 3584.86| 10.863| 43.7942|

| 22| 3405.62| 10.6808| 44.081|

| 23| 3235.34| 9.2237| 103.884|

| 24| 3073.57| 9.23301| 103.148|

| 25| 2919.89| 9.51363| 82.8241|

| 26| 2773.9| 9.23743| 102.799|

| 27| 2635.2| 9.91266| 61.4898|

| 28| 2503.44| 12.4553| 138.859|

| 29| 2378.27| 11.5024| 55.1909|

| 30| 2259.36| 13.9997| 527.757|

| 31| 2146.39| 11.1761| 46.7032|

| 32| 2039.07| 13.1124| 288.988|

| 33| 1937.11| 9.4207| 89.1124|

| 34| 1840.26| 9.29984| 97.9644|

| 35| 1748.25| 9.01205| 121.296|

| 36| 1660.83| 11.7456| 66.3726|

| 37| 1577.79| 10.9428| 44.1131|

| 38| 1498.9| 11.8634| 73.7314|

| 39| 1423.96| 10.9532| 44.175|

| 40| 1352.76| 13.7781| 484.153|

| 41| 1285.12| 13.3751| 368.79|

| 42| 1220.87| 13.4658| 396.731|

| 43| 1159.82| 13.5499| 422.075|

| 44| 1101.83| 13.2988| 345.178|

| 45| 1046.74| 12.6201| 168.055|

| 46| 994.403| 13.0063| 258.983|

| 47| 944.682| 12.39| 128.807|

| 48| 897.448| 12.39| 128.807|

| 49| 852.576| 12.2916| 115.178|

| 50| 809.947| 9.53514| 81.4369|

| 51| 769.45| 13.5726| 428.769|

| 52| 730.977| 11.8407| 72.1981|

| 53| 694.428| 11.7178| 64.8387|

| 54| 659.707| 12.0836| 91.7854|

| 55| 626.722| 13.3196| 351.589|

| 56| 595.386| 10.1219| 53.9151|

| 57| 565.616| 12.4156| 132.654|

| 58| 537.335| 13.534| 417.356|

| 59| 510.469| 11.1827| 46.8142|

| 60| 484.945| 10.31| 49.0171|

| 61| 460.698| 12.3528| 123.442|

| 62| 437.663| 11.1628| 46.4855|

| 63| 415.78| 13.6715| 456.747|

| 64| 394.991| 10.504| 45.6925|

| 65| 375.241| 11.9289| 78.4707|

| 66| 356.479| 10.1689| 52.5289|

| 67| 338.655| 11.458| 53.6445|

| 68| 321.723| 9.69933| 71.7363|

| 69| 305.636| 13.6419| 448.591|

| 70| 290.355| 9.1735| 107.908|

| 71| 275.837| 12.1422| 97.6895|

| 72| 262.045| 12.1422| 97.6895|

| 73| 248.943| 12.0369| 87.4331|

| 74| 236.496| 11.459| 53.6801|

| 75| 224.671| 10.5004| 45.738|

| 76| 213.437| 11.1087| 45.6883|

| 77| 202.765| 9.61892| 76.2901|

| 78| 192.627| 9.61892| 76.2901|

| 79| 182.996| 9.61892| 76.2901|

| 80| 173.846| 11.0258| 44.7431|

| 81| 165.154| 11.0258| 44.7431|

| 82| 156.896| 11.0258| 44.7431|

| 83| 149.051| 9.60732| 76.9782|

| 84| 141.599| 12.043| 87.9849|

| 85| 134.519| 12.043| 87.9849|

| 86| 127.793| 12.0366| 87.4057|

| 87| 121.403| 9.14969| 109.845|

| 88| 115.333| 9.72176| 70.5341|

| 89| 109.566| 9.72176| 70.5341|

| 90| 104.088| 11.3176| 49.6059|

| 91| 98.8836| 10.7841| 43.747|

| 92| 93.9395| 9.37538| 92.3471|

| 93| 89.2425| 9.37538| 92.3471|

| 94| 84.7804| 11.5472| 56.8964|

| 95| 80.5413| 11.5472| 56.8964|

| 96| 76.5143| 10.8615| 43.7907|

| 97| 72.6886| 10.8615| 43.7907|

| 98| 69.0541| 10.8331| 43.7452|

| 99| 65.6014| 10.8331| 43.7452|

| 100| 62.3214| 10.8331| 43.7452|

| 101| 59.2053| 10.8229| 43.7372|

| 102| 56.245| 11.7746| 68.0527|

| 103| 53.4328| 11.7746| 68.0527|

| 104| 50.7611| 11.7746| 68.0527|

| 105| 48.2231| 10.0186| 57.362|

| 106| 45.8119| 10.0186| 57.362|

| 107| 43.5213| 10.0186| 57.362|

| 108| 41.3453| 10.5441| 45.2106|

| 109| 39.278| 9.25391| 101.507|

| 110| 37.3141| 9.25391| 101.507|

| 111| 35.4484| 11.3432| 50.2524|

| 112| 33.676| 11.3432| 50.2524|

| 113| 31.9922| 11.3432| 50.2524|

| 114| 30.3926| 11.3432| 50.2524|

| 115| 28.8729| 10.4057| 47.1674|

| 116| 27.4293| 10.5772| 44.8647|

| 117| 26.0578| 10.5772| 44.8647|

| 118| 24.7549| 10.5772| 44.8647|

| 119| 23.5172| 10.5772| 44.8647|

| 120| 22.3413| 10.5772| 44.8647|

| 121| 21.2243| 11.1354| 46.0631|

| 122| 20.1631| 11.5942| 58.8457|

| 123| 19.1549| 11.5942| 58.8457|

| 124| 18.1972| 11.2504| 48.092|

| 125| 17.2873| 10.5113| 45.5994|

| 126| 16.4229| 10.5113| 45.5994|

| 127| 15.6018| 10.5113| 45.5994|

| 128| 14.8217| 10.5113| 45.5994|

| 129| 14.0806| 10.5113| 45.5994|

| 130| 13.3766| 10.5113| 45.5994|

| 131| 12.7078| 10.5113| 45.5994|

| 132| 12.0724| 10.5113| 45.5994|

| 133| 11.4687| 10.5113| 45.5994|

| 134| 10.8953| 11.2018| 47.1494|

| 135| 10.3505| 11.2018| 47.1494|

| 136| 9.83302| 11.2018| 47.1494|

| 137| 9.34136| 11.2018| 47.1494|

| 138| 8.8743| 11.2018| 47.1494|

| 139| 8.43058| 10.3724| 47.7634|

| 140| 8.00905| 9.54659| 80.7098|

| 141| 7.6086| 9.54659| 80.7098|

| 142| 7.22817| 9.54659| 80.7098|

| 143| 6.86676| 9.59404| 77.7755|

| 144| 6.52342| 9.88382| 62.7219|

| 145| 6.19725| 9.88382| 62.7219|

| 146| 5.88739| 9.88382| 62.7219|

| 147| 5.59302| 9.88382| 62.7219|

| 148| 5.31337| 10.3308| 48.5804|

| 149| 5.0477| 10.2716| 49.8794|

| 150| 4.79532| 11.6048| 59.3061|

| 151| 4.55555| 11.3391| 50.1459|

| 152| 4.32777| 10.3128| 48.9582|

| 153| 4.11138| 10.3128| 48.9582|

| 154| 3.90581| 10.3128| 48.9582|

| 155| 3.71052| 10.3128| 48.9582|

| 156| 3.525| 10.3128| 48.9582|

| 157| 3.34875| 10.3128| 48.9582|

| 158| 3.18131| 10.3128| 48.9582|

| 159| 3.02224| 10.3128| 48.9582|

| 160| 2.87113| 10.6712| 44.1348|

| 161| 2.72758| 10.6712| 44.1348|

| 162| 2.5912| 10.6712| 44.1348|

| 163| 2.46164| 10.6448| 44.3023|

| 164| 2.33856| 10.6448| 44.3023|

| 165| 2.22163| 10.6448| 44.3023|

| 166| 2.11055| 10.6448| 44.3023|

| 167| 2.00502| 10.6448| 44.3023|

| 168| 1.90477| 10.6448| 44.3023|

| 169| 1.80953| 10.6448| 44.3023|

| 170| 1.71905| 10.6448| 44.3023|

| 171| 1.6331| 10.6448| 44.3023|

| 172| 1.55145| 10.6448| 44.3023|

| 173| 1.47387| 10.6448| 44.3023|

| 174| 1.40018| 10.6448| 44.3023|

| 175| 1.33017| 10.6448| 44.3023|

| 176| 1.26366| 10.6448| 44.3023|

| 177| 1.20048| 10.5621| 45.0167|

| 178| 1.14045| 10.5621| 45.0167|

| 179| 1.08343| 10.5621| 45.0167|

| 180| 1.02926| 10.5621| 45.0167|

| 181| 0.977798| 10.6282| 44.4229|

| 182| 0.928908| 10.6282| 44.4229|

| 183| 0.882462| 10.6282| 44.4229|

| 184| 0.838339| 10.6282| 44.4229|

| 185| 0.796422| 10.6282| 44.4229|

| 186| 0.756601| 10.6282| 44.4229|

| 187| 0.718771| 10.6282| 44.4229|

| 188| 0.682833| 10.6282| 44.4229|

| 189| 0.648691| 10.6282| 44.4229|

| 190| 0.616256| 10.6282| 44.4229|

| 191| 0.585444| 10.6282| 44.4229|

| 192| 0.556171| 10.6282| 44.4229|

| 193| 0.528363| 10.6282| 44.4229|

| 194| 0.501945| 10.6282| 44.4229|

| 195| 0.476847| 10.6282| 44.4229|

| 196| 0.453005| 10.6282| 44.4229|

| 197| 0.430355| 10.6282| 44.4229|

| 198| 0.408837| 10.6282| 44.4229|

| 199| 0.388395| 10.6282| 44.4229|

| 200| 0.368975| 10.6282| 44.4229|

| 201| 0.350527| 10.6282| 44.4229|

| 202| 0.333| 10.6282| 44.4229|

| 203| 0.31635| 10.6282| 44.4229|

| 204| 0.300533| 10.6282| 44.4229|

| 205| 0.285506| 10.6282| 44.4229|

| 206| 0.271231| 10.6282| 44.4229|

| 207| 0.257669| 10.6282| 44.4229|

| 208| 0.244786| 10.6282| 44.4229|

| 209| 0.232547| 10.6282| 44.4229|

| 210| 0.220919| 10.6282| 44.4229|

| 211| 0.209873| 10.6282| 44.4229|

| 212| 0.19938| 10.6282| 44.4229|

| 213| 0.189411| 10.6282| 44.4229|

| 214| 0.17994| 10.6282| 44.4229|

| 215| 0.170943| 10.6282| 44.4229|

| 216| 0.162396| 10.6282| 44.4229|

| 217| 0.154276| 10.6282| 44.4229|

| 218| 0.146562| 10.6282| 44.4229|

| 219| 0.139234| 10.6282| 44.4229|

| 220| 0.132272| 10.6282| 44.4229|

| 221| 0.125659| 10.6282| 44.4229|

| 222| 0.119376| 10.6282| 44.4229|

| 223| 0.113407| 10.6282| 44.4229|

| 224| 0.107737| 10.6282| 44.4229|

| 225| 0.10235| 10.6282| 44.4229|

| 226| 0.0972324| 10.8197| 43.7356|

| 227| 0.0923708| 10.8197| 43.7356|

| 228| 0.0877523| 10.8197| 43.7356|

| 229| 0.0833647| 10.8197| 43.7356|

| 230| 0.0791964| 10.8197| 43.7356|

| 231| 0.0752366| 10.8197| 43.7356|

| 232| 0.0714748| 10.8197| 43.7356|

| 233| 0.067901| 10.8197| 43.7356|

| 234| 0.064506| 10.8197| 43.7356|

| 235| 0.0612807| 10.8197| 43.7356|

| 236| 0.0582167| 10.8197| 43.7356|

| 237| 0.0553058| 10.8197| 43.7356|

| 238| 0.0525405| 10.8197| 43.7356|

| 239| 0.0499135| 10.8197| 43.7356|

| 240| 0.0474178| 10.8197| 43.7356|

| 241| 0.0450469| 10.8197| 43.7356|

| 242| 0.0427946| 10.8197| 43.7356|

| 243| 0.0406549| 10.8197| 43.7356|

| 244| 0.0386221| 10.8197| 43.7356|

| 245| 0.036691| 10.8197| 43.7356|

| 246| 0.0348565| 10.8197| 43.7356|

| 247| 0.0331136| 10.8197| 43.7356|

| 248| 0.031458| 10.8197| 43.7356|

| 249| 0.0298851| 10.8197| 43.7356|

| 250| 0.0283908| 10.8197| 43.7356|

| 251| 0.0269713| 10.8197| 43.7356|

| 252| 0.0256227| 10.8197| 43.7356|

| 253| 0.0243416| 10.8197| 43.7356|

| 254| 0.0231245| 10.8197| 43.7356|

| 255| 0.0219683| 10.8197| 43.7356|

| 256| 0.0208699| 10.8197| 43.7356|

| 257| 0.0198264| 10.8197| 43.7356|

| 258| 0.018835| 10.8197| 43.7356|

| 259| 0.0178933| 10.8197| 43.7356|

| 260| 0.0169986| 10.8197| 43.7356|

| 261| 0.0161487| 10.8197| 43.7356|

| 262| 0.0153413| 10.8197| 43.7356|

| 263| 0.0145742| 10.8197| 43.7356|

| 264| 0.0138455| 10.8197| 43.7356|

| 265| 0.0131532| 10.8197| 43.7356|

| 266| 0.0124956| 10.8197| 43.7356|

| 267| 0.0118708| 10.8197| 43.7356|

| 268| 0.0112772| 10.8197| 43.7356|

| 269| 0.0107134| 10.8197| 43.7356|

| 270| 0.0101777| 10.8197| 43.7356|

Res: X\_min = 10.8197 , Fmin = 43.7356

Имитация отжига для y = (x \* x) \* exp(sin(x)) \*sin(5x) на [-2; 0]

Function 2, interval: [9 14]

| N| T| x| f(x)|

| 1| 10000| 9.25605| 75.7079|

| 2| 9500| 11.7256| 57.0017|

| 3| 9025| 12.2023| -101.06|

| 4| 8573.75| 13.7374| -196.812|

| 5| 8145.06| 12.8128| 197.64|

| 6| 7737.81| 11.7908| 46.3614|

| 7| 7350.92| 11.3661| 14.1458|

| 8| 6983.37| 10.2851| 45.4469|

| 9| 6634.2| 13.1084| 120.365|

| 10| 6302.49| 10.0355| -4.98927|

| 11| 5987.37| 13.4134| -338.139|

| 12| 5688| 13.4807| -397.333|

| 13| 5403.6| 10.5535| 26.9142|

| 14| 5133.42| 13.6948| -276.874|

| 15| 4876.75| 12.1658| -91.0171|

| 16| 4632.91| 11.7154| 58.054|

| 17| 4401.27| 12.6407| 62.5049|

| 18| 4181.2| 13.3869| -305.298|

| 19| 3972.14| 12.8235| 203.502|

| 20| 3773.54| 10.0964| 11.7481|

| 21| 3584.86| 13.7157| -239.451|

| 22| 3405.62| 12.274| -112.259|

| 23| 3235.34| 11.2933| -4.02083|

| 24| 3073.57| 12.5815| 12.1451|

| 25| 2919.89| 13.2022| -11.9243|

| 26| 2773.9| 11.5805| 56.892|

| 27| 2635.2| 11.1038| -39.106|

| 28| 2503.44| 10.5931| 19.1166|

| 29| 2378.27| 10.5931| 19.1166|

| 30| 2259.36| 11.7914| 46.2301|

| 31| 2146.39| 10.5593| 25.8183|

| 32| 2039.07| 13.83| 17.3722|

| 33| 1937.11| 10.1611| 27.1166|

| 34| 1840.26| 9.37309| 23.6444|

| 35| 1748.25| 10.1802| 30.9826|

| 36| 1660.83| 9.3502| 34.3139|

| 37| 1577.79| 11.2233| -19.9218|

| 38| 1498.9| 11.9611| -9.29557|

| 39| 1423.96| 13.7557| -158.071|

| 40| 1352.76| 9.9447| -31.0406|

| 41| 1285.12| 12.9857| 219.131|

| 42| 1220.87| 10.811| -26.3891|

| 43| 1159.82| 10.306| 46.8207|

| 44| 1101.83| 10.2227| 38.3091|

| 45| 1046.74| 13.3728| -286.206|

| 46| 994.403| 9.77044| -67.1848|

| 47| 944.682| 12.7671| 167.779|

| 48| 897.448| 12.8934| 228.741|

| 49| 852.576| 13.4028| -325.479|

| 50| 809.947| 11.0528| -43.1838|

| 51| 769.45| 13.6516| -341.098|

| 52| 730.977| 13.0635| 167.651|

| 53| 694.428| 12.4651| -68.1265|

| 54| 659.707| 13.9086| 212.627|

| 55| 626.722| 9.24522| 79.907|

| 56| 595.386| 12.7535| 157.682|

| 57| 565.616| 9.75503| -68.5831|

| 58| 537.335| 11.5196| 48.4099|

| 59| 510.469| 11.2483| -14.5281|

| 60| 484.945| 12.2347| -107.665|

| 61| 460.698| 13.1833| 17.6034|

| 62| 437.663| 10.397| 46.7967|

| 63| 415.78| 12.2098| -102.794|

| 64| 394.991| 12.2098| -102.794|

| 65| 375.241| 13.2885| -154.529|

| 66| 356.479| 13.4984| -406.115|

| 67| 338.655| 13.6925| -280.734|

| 68| 321.723| 11.615| 59.7024|

| 69| 305.636| 13.537| -414.12|

| 70| 290.355| 11.5716| 55.9233|

| 71| 275.837| 10.7719| -19.1319|

| 72| 262.045| 9.22858| 86.0105|

| 73| 248.943| 10.092| 10.5904|

| 74| 236.496| 10.092| 10.5904|

| 75| 224.671| 11.7381| 55.4849|

| 76| 213.437| 13.21| -24.3661|

| 77| 202.765| 11.5106| 46.8261|

| 78| 192.627| 11.465| 37.748|

| 79| 182.996| 10.2888| 45.7251|

| 80| 173.846| 13.7067| -256.038|

| 81| 165.154| 13.7067| -256.038|

| 82| 156.896| 13.7067| -256.038|

| 83| 149.051| 10.632| 10.8623|

| 84| 141.599| 10.632| 10.8623|

| 85| 134.519| 10.632| 10.8623|

| 86| 127.793| 9.12452| 111.641|

| 87| 121.403| 13.371| -283.637|

| 88| 115.333| 9.24873| 78.5649|

| 89| 109.566| 9.24873| 78.5649|

| 90| 104.088| 11.6415| 60.7483|

| 91| 98.8836| 12.3859| -100.62|

| 92| 93.9395| 11.1438| -34.0776|

| 93| 89.2425| 13.4932| -403.862|

| 94| 84.7804| 13.4932| -403.862|

| 95| 80.5413| 13.4932| -403.862|

| 96| 76.5143| 13.4932| -403.862|

| 97| 72.6886| 13.4932| -403.862|

| 98| 69.0541| 13.4932| -403.862|

| 99| 65.6014| 13.4932| -403.862|

| 100| 62.3214| 13.4932| -403.862|

| 101| 59.2053| 13.4932| -403.862|

| 102| 56.245| 13.4932| -403.862|

| 103| 53.4328| 13.5293| -413.781|

| 104| 50.7611| 13.5293| -413.781|

| 105| 48.2231| 13.5293| -413.781|

| 106| 45.8119| 13.5293| -413.781|

| 107| 43.5213| 13.5293| -413.781|

| 108| 41.3453| 13.5293| -413.781|

| 109| 39.278| 13.5293| -413.781|

| 110| 37.3141| 13.5293| -413.781|

| 111| 35.4484| 13.5293| -413.781|

| 112| 33.676| 13.5293| -413.781|

| 113| 31.9922| 13.5293| -413.781|

| 114| 30.3926| 13.5293| -413.781|

| 115| 28.8729| 13.5293| -413.781|

| 116| 27.4293| 13.5293| -413.781|

| 117| 26.0578| 13.5293| -413.781|

| 118| 24.7549| 13.5293| -413.781|

| 119| 23.5172| 13.5293| -413.781|

| 120| 22.3413| 13.5293| -413.781|

| 121| 21.2243| 13.5293| -413.781|

| 122| 20.1631| 13.5293| -413.781|

| 123| 19.1549| 13.5293| -413.781|

| 124| 18.1972| 13.5293| -413.781|

| 125| 17.2873| 13.5293| -413.781|

| 126| 16.4229| 13.5293| -413.781|

| 127| 15.6018| 13.5293| -413.781|

| 128| 14.8217| 13.4597| -382.986|

| 129| 14.0806| 13.5636| -410.268|

| 130| 13.3766| 13.5636| -410.268|

| 131| 12.7078| 13.5636| -410.268|

| 132| 12.0724| 13.5636| -410.268|

| 133| 11.4687| 13.5636| -410.268|

| 134| 10.8953| 13.5636| -410.268|

| 135| 10.3505| 13.5636| -410.268|

| 136| 9.83302| 13.5636| -410.268|

| 137| 9.34136| 13.5636| -410.268|

| 138| 8.8743| 13.5636| -410.268|

| 139| 8.43058| 13.5636| -410.268|

| 140| 8.00905| 13.5636| -410.268|

| 141| 7.6086| 13.5636| -410.268|

| 142| 7.22817| 13.5636| -410.268|

| 143| 6.86676| 13.5238| -413.148|

| 144| 6.52342| 13.5238| -413.148|

| 145| 6.19725| 13.5238| -413.148|

| 146| 5.88739| 13.5238| -413.148|

| 147| 5.59302| 13.5238| -413.148|

| 148| 5.31337| 13.5238| -413.148|

| 149| 5.0477| 13.5238| -413.148|

| 150| 4.79532| 13.5238| -413.148|

| 151| 4.55555| 13.5238| -413.148|

| 152| 4.32777| 13.5238| -413.148|

| 153| 4.11138| 13.5238| -413.148|

| 154| 3.90581| 13.5238| -413.148|

| 155| 3.71052| 13.5238| -413.148|

| 156| 3.525| 13.5238| -413.148|

| 157| 3.34875| 13.5238| -413.148|

| 158| 3.18131| 13.5238| -413.148|

| 159| 3.02224| 13.5238| -413.148|

| 160| 2.87113| 13.5238| -413.148|

| 161| 2.72758| 13.5238| -413.148|

| 162| 2.5912| 13.5238| -413.148|

| 163| 2.46164| 13.5238| -413.148|

| 164| 2.33856| 13.5238| -413.148|

| 165| 2.22163| 13.5238| -413.148|

| 166| 2.11055| 13.5238| -413.148|

| 167| 2.00502| 13.5238| -413.148|

| 168| 1.90477| 13.5238| -413.148|

| 169| 1.80953| 13.5238| -413.148|

| 170| 1.71905| 13.5238| -413.148|

| 171| 1.6331| 13.5238| -413.148|

| 172| 1.55145| 13.5238| -413.148|

| 173| 1.47387| 13.5238| -413.148|

| 174| 1.40018| 13.5238| -413.148|

| 175| 1.33017| 13.5238| -413.148|

| 176| 1.26366| 13.5238| -413.148|

| 177| 1.20048| 13.5238| -413.148|

| 178| 1.14045| 13.5238| -413.148|

| 179| 1.08343| 13.5238| -413.148|

| 180| 1.02926| 13.5238| -413.148|

| 181| 0.977798| 13.5238| -413.148|

| 182| 0.928908| 13.5238| -413.148|

| 183| 0.882462| 13.5238| -413.148|

| 184| 0.838339| 13.5238| -413.148|

| 185| 0.796422| 13.5238| -413.148|

| 186| 0.756601| 13.5238| -413.148|

| 187| 0.718771| 13.5238| -413.148|

| 188| 0.682833| 13.5238| -413.148|

| 189| 0.648691| 13.5238| -413.148|

| 190| 0.616256| 13.5238| -413.148|

| 191| 0.585444| 13.5238| -413.148|

| 192| 0.556171| 13.5238| -413.148|

| 193| 0.528363| 13.5238| -413.148|

| 194| 0.501945| 13.5238| -413.148|

| 195| 0.476847| 13.5238| -413.148|

| 196| 0.453005| 13.5238| -413.148|

| 197| 0.430355| 13.5238| -413.148|

| 198| 0.408837| 13.5238| -413.148|

| 199| 0.388395| 13.5238| -413.148|

| 200| 0.368975| 13.5238| -413.148|

| 201| 0.350527| 13.5238| -413.148|

| 202| 0.333| 13.5238| -413.148|

| 203| 0.31635| 13.5238| -413.148|

| 204| 0.300533| 13.5238| -413.148|

| 205| 0.285506| 13.5238| -413.148|

| 206| 0.271231| 13.5238| -413.148|

| 207| 0.257669| 13.5238| -413.148|

| 208| 0.244786| 13.5238| -413.148|

| 209| 0.232547| 13.5238| -413.148|

| 210| 0.220919| 13.5238| -413.148|

| 211| 0.209873| 13.5238| -413.148|

| 212| 0.19938| 13.5238| -413.148|

| 213| 0.189411| 13.5238| -413.148|

| 214| 0.17994| 13.5238| -413.148|

| 215| 0.170943| 13.5238| -413.148|

| 216| 0.162396| 13.5238| -413.148|

| 217| 0.154276| 13.5238| -413.148|

| 218| 0.146562| 13.5238| -413.148|

| 219| 0.139234| 13.5238| -413.148|

| 220| 0.132272| 13.5238| -413.148|

| 221| 0.125659| 13.5238| -413.148|

| 222| 0.119376| 13.5238| -413.148|

| 223| 0.113407| 13.5238| -413.148|

| 224| 0.107737| 13.5238| -413.148|

| 225| 0.10235| 13.5238| -413.148|

| 226| 0.0972324| 13.5238| -413.148|

| 227| 0.0923708| 13.5238| -413.148|

| 228| 0.0877523| 13.5238| -413.148|

| 229| 0.0833647| 13.5238| -413.148|

| 230| 0.0791964| 13.5238| -413.148|

| 231| 0.0752366| 13.5238| -413.148|

| 232| 0.0714748| 13.5238| -413.148|

| 233| 0.067901| 13.5238| -413.148|

| 234| 0.064506| 13.5238| -413.148|

| 235| 0.0612807| 13.5238| -413.148|

| 236| 0.0582167| 13.5238| -413.148|

| 237| 0.0553058| 13.5238| -413.148|

| 238| 0.0525405| 13.5238| -413.148|

| 239| 0.0499135| 13.5238| -413.148|

| 240| 0.0474178| 13.5238| -413.148|

| 241| 0.0450469| 13.5238| -413.148|

| 242| 0.0427946| 13.5238| -413.148|

| 243| 0.0406549| 13.5238| -413.148|

| 244| 0.0386221| 13.5238| -413.148|

| 245| 0.036691| 13.5238| -413.148|

| 246| 0.0348565| 13.5238| -413.148|

| 247| 0.0331136| 13.5238| -413.148|

| 248| 0.031458| 13.5238| -413.148|

| 249| 0.0298851| 13.5238| -413.148|

| 250| 0.0283908| 13.5238| -413.148|

| 251| 0.0269713| 13.5238| -413.148|

| 252| 0.0256227| 13.5238| -413.148|

| 253| 0.0243416| 13.5238| -413.148|

| 254| 0.0231245| 13.5238| -413.148|

| 255| 0.0219683| 13.5238| -413.148|

| 256| 0.0208699| 13.5238| -413.148|

| 257| 0.0198264| 13.5238| -413.148|

| 258| 0.018835| 13.5238| -413.148|

| 259| 0.0178933| 13.5238| -413.148|

| 260| 0.0169986| 13.5238| -413.148|

| 261| 0.0161487| 13.5238| -413.148|

| 262| 0.0153413| 13.5238| -413.148|

| 263| 0.0145742| 13.5238| -413.148|

| 264| 0.0138455| 13.5238| -413.148|

| 265| 0.0131532| 13.5238| -413.148|

| 266| 0.0124956| 13.5238| -413.148|

| 267| 0.0118708| 13.5238| -413.148|

| 268| 0.0112772| 13.5238| -413.148|

| 269| 0.0107134| 13.5238| -413.148|

| 270| 0.0101777| 13.5238| -413.148|

Res: X\_min = 13.5238 , Fmin = -413.148

# Выводы

Из полученных таблиц и графиков видно, что алгоритм имитации отжига является весьма эффективным алгоритмом случайного поиска глобального минимума. Применимость метода не зависит от того, является ли функция унимодальной или мультимодальной.

# Приложение. Исходный код программы

#include <cmath>

#include <ctime>

#include <iomanip>

#include <iostream>

#include <utility>

using std::cout;

const double A = 9.;

const double B = 14.;

double func(const double x) {

return (x \* x) \* exp(sin(x));

}

double multi\_func(const double x) {

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

}

double random(const double A, const double B) {

return A + rand() \* 1. / RAND\_MAX \* (B - A);

}

void print\_arg(const int num, const double T,

const double value, const double function) {

cout << "| " << std::setw(4) << num << "| " << std::setw(10) << T

<< "| " << std::setw(11) << value << "| " << std::setw(13) <<

function << "|" << std::endl;

}

std::pair<double, double> SA(double(\*f)(const double x)) {

cout << "| " << std::setw(4) << "N" << "| " << std::setw(10) << "T"

<< "| " << std::setw(11) << "x" << "| " << std::setw(13) << "f(x)" << "|" << std::endl;

const double T\_min = 0.01;

double T\_i = 10000.0;

double x\_i = random(A, B);

int i = 0;

while (T\_i > T\_min) {

++i;

double x\_new = random(A, B);

double delta = f(x\_new) - f(x\_i);

if (delta <= 0) {

x\_i = x\_new;

}

else {

double rand\_probob = random(0, 1);

double probob = exp(-delta / T\_i);

if (rand\_probob < probob) {

x\_i = x\_new;

}

}

print\_arg(i, T\_i, x\_i, f(x\_i));

T\_i \*= 0.95;

}

return std::pair<double,double>{ x\_i, f(x\_i) };

}

int main() {

srand(time(nullptr));

cout << "Function 1, interval: [" << A << " " << B << "]" << std::endl;

std::pair<double, double> res1 = SA(func);

cout << "Res: X\_min = " << res1.first << " , Fmin = " << res1.second << std::endl;

cout << "Function 2, interval: [" << A << " " << B << "]" << std::endl;

std::pair<double, double> res2 = SA(multi\_func);

cout << "Res: X\_min = " << res2.first << " , Fmin = " << res2.second << std::endl;

}

# Ответ на контрольный вопрос

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

Основная идея алгоритма случайного заключается в том, что итеративно выбирается точка, в которой может быть минимум и сравнивается значение функции в нём со значением в предыдущей точке. Если значение меньше, то выполняется переход в новую точку. Если же оно больше, то осуществляется переход в новую точку с некоторой вероятностью, которая зависит от значения параметра-температуры (чем меньше температура, тем меньше вероятность перехода). За счёт этого можно выходить из локальных минимумов.

В настоящее время метод имитации отжига применяется для решения многих оптимизационных задач – финансовых, компьютерной графики, комбинаторных, в телекоммуникационных сетях и многих других. Зачастую метод отжига используют для обучения нейронных сетей.