



**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 5

Выполнил: Куликова А. В.,  
студент группы ИУ8-11М

Проверил: Строганов. И.С.

г. Москва, 2023 г.

## **1. Цель работы**

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

## 2. Постановка задачи

1. На интервале  $[a,b]$  задана унимодальная функция одного переменного  $f(x)$ . 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  $f(x) \sin 5x$ .

Унимодальная функция:  $-\cos 0.5x - 1$

Отрезок поиска:  $[-2, 4]$

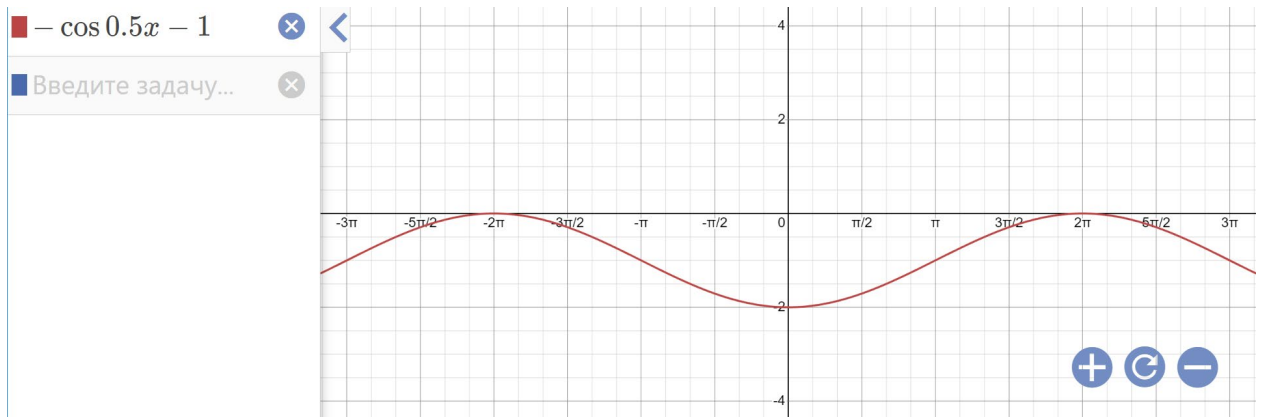


Рисунок 1 – график унимодальной функции

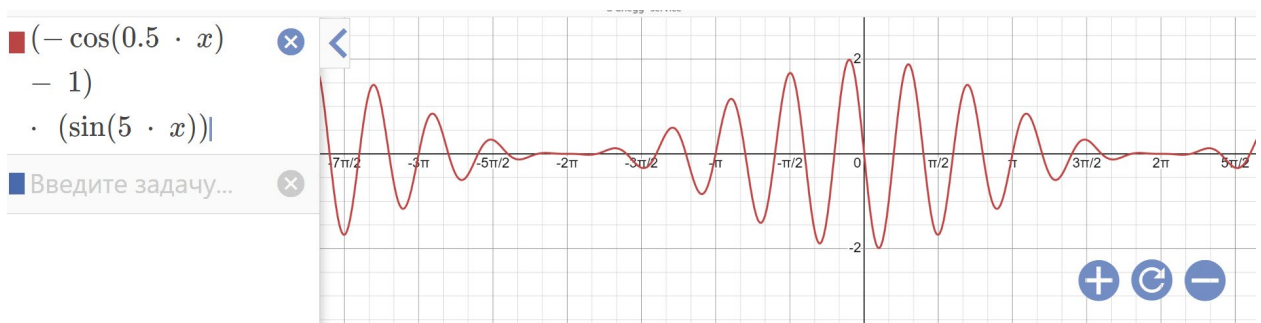


Рисунок 2 – график мультимодальной функции

### 3. Ход работы

Имитация отжига для заданных функций:

- Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$ ;
- Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2; 4]$ .

#### 3.1. Имитация отжига для $-\cos 0.5x - 1$ на $[-2; 4]$

Таблица 1 – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$

```
23:27:26: Starting C:\Users\USER\Desktop\Бауманка\ТСиСа\buil
=====
KULIKOVA ALYONA IU8-11M
LAB #3
variant #5
=====

**** Function: (-cos(0.5 * x) - 1) , interval: [-2,4] ****
```

N	T	x	f(x)
1	10000	1.05008	-1.8653
2	9500	0.463027	-1.97332
3	9025	0.422926	-1.97772
4	8573.75	0.142582	-1.99746
5	8145.06	-1.40434	-1.76344
6	7737.81	2.35951	-1.38115
7	7350.92	0.924833	-1.89498
8	6983.37	0.821192	-1.91688
9	6634.2	1.48643	-1.7363
10	6302.49	0.970794	-1.88449
11	5987.37	0.353526	-1.98442
12	5688	-1.17307	-1.83286
13	5403.6	1.54942	-1.71462
14	5133.42	-1.80975	-1.61778
15	4876.75	-0.859218	-1.90913
16	4632.91	0.736778	-1.93291
17	4401.27	-0.291574	-1.98939
18	4181.2	2.72793	-1.20536
19	3972.14	3.94726	-0.607971
20	3773.54	0.385754	-1.98146
21	3584.86	1.89477	-1.58381
22	3405.62	2.96121	-1.09007
23	3235.34	1.32255	-1.78921
24	3073.57	-1.22251	-1.81893
25	2919.89	2.92624	-1.10747

**Таблица 2** – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 ✕			
26	2773.9	3.95624	-0.603848
27	2635.2	1.46117	-1.74479
28	2503.44	2.82168	-1.15927
29	2378.27	-1.29777	-1.79676
30	2259.36	-0.0974761	-1.99881
31	2146.39	1.322	-1.78938
32	2039.07	3.60375	-0.770973
33	1937.11	1.62944	-1.68607
34	1840.26	3.41935	-0.861565
35	1748.25	-1.04453	-1.86669
36	1660.83	2.2848	-1.41541
37	1577.79	0.749413	-1.93062
38	1498.9	1.68365	-1.6661
39	1423.96	2.52522	-1.30333
40	1352.76	0.0918607	-1.99895
41	1285.12	3.46422	-0.839386
42	1220.87	-1.50871	-1.72871
43	1159.82	2.957	-1.09217
44	1101.83	2.417	-1.35442
45	1046.74	2.37288	-1.37496
46	994.403	2.34944	-1.3858
47	944.682	2.33241	-1.39364
48	897.448	1.30699	-1.79397
49	852.576	2.62923	-1.25339
50	809.947	-0.353832	-1.98439
51	769.45	1.35643	-1.7787
52	730.977	1.19529	-1.82666
53	694.428	-1.17618	-1.832
54	659.707	3.51823	-0.81279
55	626.722	3.00534	-1.06807
56	595.386	2.09088	-1.50152
57	565.616	3.17014	-0.985726
58	537.335	1.67467	-1.66944
59	510.469	3.8894	-0.634747
60	484.945	2.558	-1.28767
61	460.698	3.72039	-0.714624
62	437.663	2.4593	-1.33457
63	415.78	0.734031	-1.9334
64	394.991	-0.690939	-1.94092
65	375.241	0.799768	-1.92111
66	356.479	-1.05789	-1.86334
67	338.655	1.82684	-1.61104

**Таблица 3** – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 X			
68	321.723	3.06467	-1.03845
69	305.636	3.2031	-0.969251
70	290.355	3.14267	-0.999459
71	275.837	1.83471	-1.60792
72	262.045	0.239265	-1.99285
73	248.943	1.26029	-1.80794
74	236.496	0.150822	-1.99716
75	224.671	-0.0731223	-1.99933
76	213.437	-1.10623	-1.85089
77	202.765	1.73492	-1.64677
78	192.627	1.24894	-1.81127
79	182.996	-1.25089	-1.8107
80	173.846	2.53383	-1.29923
81	165.154	1.09549	-1.8537
82	156.896	-1.48088	-1.73817
83	149.051	2.33882	-1.3907
84	141.599	1.80926	-1.61798
85	134.519	3.62682	-0.75976
86	127.793	0.931242	-1.89354
87	121.403	-1.79546	-1.62338
88	115.333	0.420545	-1.97797
89	109.566	3.35655	-0.892729
90	104.088	1.90283	-1.58053
91	98.8836	3.2985	-0.921626
92	93.9395	0.507889	-1.96793
93	89.2425	2.59243	-1.27115
94	84.7804	1.50493	-1.73001
95	80.5413	1.49376	-1.73381
96	76.5143	3.95825	-0.602924
97	72.6886	0.668844	-1.9446
98	69.0541	-1.88263	-1.58873
99	65.6014	0.540117	-1.96376
100	62.3214	0.681845	-1.94245
101	59.2053	2.84329	-1.1486
102	56.245	-1.01724	-1.87342
103	53.4328	3.71838	-0.71559
104	50.7611	1.90759	-1.57859
105	48.2231	2.34706	-1.3869
106	45.8119	-0.633625	-1.95023
107	43.5213	0.440138	-1.97588
108	41.3453	2.25147	-1.43051
109	39.278	1.25333	-1.80999



**Таблица 4** – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 ✕			
110	37.3141	3.09873	-1.02143
111	35.4484	-1.65154	-1.67799
112	33.676	0.149724	-1.9972
113	31.9922	1.19199	-1.82759
114	30.3926	0.00195318	-2
115	28.8729	1.88488	-1.58781
116	27.4293	-0.756859	-1.92925
117	26.0578	1.88525	-1.58767
118	24.7549	1.43461	-1.75358
119	23.5172	-0.708518	-1.9379
120	22.3413	3.74438	-0.70315
121	21.2243	0.365062	-1.98339
122	20.1631	2.00885	-1.53657
123	19.1549	3.62938	-0.758516
124	18.1972	0.527665	-1.9654
125	17.2873	1.89367	-1.58425
126	16.4229	3.34666	-0.897646
127	15.6018	-0.633076	-1.95032
128	14.8217	-0.372509	-1.9827
129	14.0806	-0.270333	-1.99088
130	13.3766	2.3824	-1.37055
131	12.7078	2.33607	-1.39196
132	12.0724	0.135624	-1.9977
133	11.4687	0.190741	-1.99546
134	10.8953	-0.150212	-1.99718
135	10.3505	1.58184	-1.70319
136	9.83302	1.36155	-1.77708
137	9.34136	2.48347	-1.32315
138	8.8743	0.977752	-1.88286
139	8.43058	1.92462	-1.57163
140	8.00905	1.94641	-1.56265
141	7.6086	1.14402	-1.84082
142	7.22817	1.0596	-1.86291
143	6.86676	2.48347	-1.32315
144	6.52342	2.48347	-1.32315
145	6.19725	-1.38383	-1.77003
146	5.88739	-0.274178	-1.99062
147	5.59302	0.558061	-1.96132
148	5.31337	-0.725547	-1.93492
149	5.0477	1.62285	-1.68846
150	4.79532	-1.45415	-1.74712
151	4.55555	2.4919	-1.31916

**Таблица 5** – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 ✕			
152	4.32777	1.27915	-1.80235
153	4.11138	0.509537	-1.96772
154	3.90581	1.17771	-1.83158
155	3.71052	3.09616	-1.02271
156	3.525	-0.438612	-1.97605
157	3.34875	0.568682	-1.95985
158	3.18131	2.81289	-1.16361
159	3.02224	0.148259	-1.99725
160	2.87113	-0.287729	-1.98967
161	2.72758	-0.287729	-1.98967
162	2.5912	0.681661	-1.94248
163	2.46164	-1.57903	-1.70419
164	2.33856	2.8171	-1.16153
165	2.22163	-1.73943	-1.64504
166	2.11055	2.16248	-1.47023
167	2.00502	2.74752	-1.19576
168	1.90477	3.55834	-0.793133
169	1.80953	-1.56273	-1.70995
170	1.71905	-0.565325	-1.96032
171	1.6331	-0.280404	-1.99019
172	1.55145	-0.280404	-1.99019
173	1.47387	-1.34684	-1.78169
174	1.40018	0.1695	-1.99641
175	1.33017	2.16907	-1.46732
176	1.26366	0.542497	-1.96344
177	1.20048	-0.997467	-1.87819
178	1.14045	-0.925504	-1.89483
179	1.08343	-0.969268	-1.88485
180	1.02926	-1.3994	-1.76504
181	0.977798	-1.3994	-1.76504
182	0.928908	2.82461	-1.15783
183	0.882462	1.82189	-1.613
184	0.838339	-0.219611	-1.99398
185	0.796422	0.226447	-1.9936
186	0.756601	0.226447	-1.9936
187	0.718771	-0.740745	-1.93219
188	0.682833	-0.740745	-1.93219
189	0.648691	0.389782	-1.98107
190	0.616256	0.389782	-1.98107
191	0.585444	2.71328	-1.21252
192	0.556171	0.558428	-1.96127
193	0.528363	-1.41643	-1.75953



**Таблица 6** – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 ✕			
194	0.501945	-1.41643	-1.75953
195	0.476847	-0.860134	-1.90894
196	0.453005	1.59447	-1.69869
197	0.430355	1.47472	-1.74025
198	0.408837	-1.01669	-1.87355
199	0.388395	-1.01669	-1.87355
200	0.368975	-1.01669	-1.87355
201	0.350527	-1.55431	-1.71291
202	0.333	-1.55431	-1.71291
203	0.31635	0.343455	-1.98529
204	0.300533	0.343455	-1.98529
205	0.285506	0.343455	-1.98529
206	0.271231	0.740989	-1.93215
207	0.257669	0.740989	-1.93215
208	0.244786	0.740989	-1.93215
209	0.232547	-0.552141	-1.96213
210	0.220919	0.156316	-1.99695
211	0.209873	0.156316	-1.99695
212	0.19938	-0.00262459	-2
213	0.189411	-0.00262459	-2
214	0.17994	0.0603656	-1.99954
215	0.170943	0.833827	-1.91434
216	0.162396	1.94751	-1.5622
217	0.154276	1.94751	-1.5622
218	0.146562	-0.0524308	-1.99966
219	0.139234	-0.137577	-1.99763
220	0.132272	-0.137577	-1.99763
221	0.125659	-0.837977	-1.9135
222	0.119376	0.498733	-1.96907
223	0.113407	0.498733	-1.96907
224	0.107737	0.498733	-1.96907
225	0.10235	0.164556	-1.99662
226	0.0972324	-0.443739	-1.97549
227	0.0923708	-0.392102	-1.98084
228	0.0877523	-0.392102	-1.98084
229	0.0833647	-0.392102	-1.98084
230	0.0791964	-0.392102	-1.98084
231	0.0752366	-0.392102	-1.98084
232	0.0714748	0.702902	-1.93887
233	0.067901	-0.974578	-1.88361
234	0.064506	0.230293	-1.99338
235	0.0612807	-0.56679	-1.96011

**Таблица 7** – Имитация отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 X			
236	0.0582167	-0.56679	-1.96011
237	0.0553058	-0.56679	-1.96011
238	0.0525405	-0.56679	-1.96011
239	0.0499135	-0.56679	-1.96011
240	0.0474178	0.160344	-1.99679
241	0.0450469	0.488296	-1.97034
242	0.0427946	0.488296	-1.97034
243	0.0406549	-0.718223	-1.93621
244	0.0386221	-0.718223	-1.93621
245	0.036691	-0.298166	-1.98891
246	0.0348565	-0.298166	-1.98891
247	0.0331136	-0.298166	-1.98891
248	0.031458	-0.298166	-1.98891
249	0.0298851	-0.298166	-1.98891
250	0.0283908	-0.298166	-1.98891
251	0.0269713	-0.298166	-1.98891
252	0.0256227	-0.298166	-1.98891
253	0.0243416	-0.298166	-1.98891
254	0.0231245	-0.298166	-1.98891
255	0.0219683	-0.298166	-1.98891
256	0.0208699	0.0112918	-1.99998
257	0.0198264	0.0112918	-1.99998
258	0.018835	0.0112918	-1.99998
259	0.0178933	0.0112918	-1.99998
260	0.0169986	0.104862	-1.99863
261	0.0161487	0.104862	-1.99863
262	0.0153413	0.104862	-1.99863
263	0.0145742	0.104862	-1.99863
264	0.0138455	0.104862	-1.99863
265	0.0131532	0.104862	-1.99863
266	0.0124956	0.104862	-1.99863
267	0.0118708	0.104862	-1.99863
268	0.0112772	0.104862	-1.99863
269	0.0107134	0.104862	-1.99863
270	0.0101777	0.104862	-1.99863
Result: Xmin = 0.104862, Fmin = -1.99863			

Result: Xmin = 0.104862, Fmin = -1.99863

**Рисунок 3** – Результат имитации отжига для  $-\cos 0.5x - 1$  на  $[-2; 4]$

### 3.2. Имитация отжига для $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$ на $[-2; 4]$

**Таблица 8** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2; 4]$

TSiSa_lab_3 X			
**** Function: $(-\cos(0.5 * x) - 1) * \sin(5 * x)$ , interval: $[-2,4]$ ****			
N	T	x	f(x)
-----			
1	10000	3.17765	0.176071
2	9500	3.859	-0.279613
3	9025	0.396191	-1.81618
4	8573.75	-1.83355	0.408846
5	8145.06	-1.11008	-1.23746
6	7737.81	3.14652	0.0245704
7	7350.92	-0.909574	-1.87272
8	6983.37	-1.13828	-1.02776
9	6634.2	0.19422	-1.64712
10	6302.49	-0.903348	-1.86347
11	5987.37	-0.00170904	0.0170902
12	5688	0.591388	-0.359245
13	5403.6	-1.41624	1.25982
14	5133.42	-1.67406	1.45201
15	4876.75	1.93469	0.385788
16	4632.91	-1.89856	-0.107518
17	4401.27	-1.83355	0.408846
18	4181.2	1.63109	-1.60945
19	3972.14	-1.16849	-0.782425
20	3773.54	3.96484	-0.496424
21	3584.86	3.00406	-0.678352
22	3405.62	1.56261	-1.70856
23	3235.34	1.47618	-1.54868
24	3073.57	-0.212653	1.74296
25	2919.89	3.07657	-0.329794
26	2773.9	3.17966	0.1856
27	2635.2	3.89782	-0.376508
28	2503.44	-1.08646	-1.3955
29	2378.27	3.38273	0.821739
30	2259.36	-0.274911	1.95236
31	2146.39	3.56273	0.680501
32	2039.07	0.862575	1.75814
33	1937.11	1.37016	-0.953933
34	1840.26	0.325144	-1.98382
35	1748.25	-0.974761	-1.85908
36	1660.83	1.13651	1.04152
37	1577.79	1.93725	0.404957



**Таблица 9** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2; 4]$   
(продолжение)

TSiSa_lab_3 X			
38	1498.9	0.957976	1.8818
39	1423.96	-1.71709	1.23053
40	1352.76	0.349498	-1.95387
41	1285.12	2.97659	-0.795081
42	1220.87	3.60063	0.578507
43	1159.82	1.79791	-0.68407
44	1101.83	1.58898	-1.69363
45	1046.74	1.14365	0.985549
46	994.403	0.414869	-1.73298
47	944.682	-0.636006	-0.0749265
48	897.448	-1.70885	1.27738
49	852.576	3.26902	0.557021
50	809.947	0.812952	1.53005
51	769.45	-1.05991	-1.55085
52	730.977	0.446913	-1.55577
53	694.428	-1.54827	1.70416
54	659.707	0.00341807	-0.034179
55	626.722	3.97565	-0.509649
56	595.386	1.33262	-0.662373
57	565.616	0.376049	-1.88822
58	537.335	0.0975372	-0.936608
59	510.469	0.913297	1.87737
60	484.945	2.03504	1.04027
61	460.698	2.40986	0.671167
62	437.663	1.74664	-1.0474
63	415.78	2.06909	1.20272
64	394.991	-0.824427	-1.59201
65	375.241	3.54936	0.711747
66	356.479	1.43956	-1.38811
67	338.655	-0.349803	1.95331
68	321.723	2.90829	-1.02638
69	305.636	-0.337352	1.97247
70	290.355	0.237434	-1.8481
71	275.837	3.32304	0.716426
72	262.045	2.36244	0.944737
73	248.943	-1.00516	-1.78495
74	236.496	-1.25034	-0.056976
75	224.671	1.8067	-0.617464
76	213.437	-0.372875	1.89784
77	202.765	-0.239387	1.85519
78	192.627	-0.953154	-1.88588
79	182.996	-1.13205	-1.07583

**Таблица 10** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2;$   
4] (продолжение)

TSiSa_lab_3 ✕			
80	173.846	3.42283	0.848222
81	165.154	2.58235	-0.432016
82	156.896	-1.17325	-0.742186
83	149.051	-1.68102	1.42025
84	141.599	-0.0982086	0.942523
85	134.519	-1.81487	0.554657
86	127.793	3.89819	-0.377333
87	121.403	1.36796	-0.937805
88	115.333	3.23936	0.446639
89	109.566	0.231758	-1.82649
90	104.088	-0.270699	1.94404
91	98.8836	-0.243599	1.86986
92	93.9395	3.01486	-0.629583
93	89.2425	-0.0427259	0.423968
94	84.7804	0.277718	-1.95743
95	80.5413	0.277718	-1.95743
96	76.5143	3.7691	0.00281465
97	72.6886	0.92758	1.88911
98	69.0541	1.2103	0.418433
99	65.6014	2.21796	1.43916
100	62.3214	1.59648	-1.68398
101	59.2053	1.61571	-1.64859
102	56.245	-1.92969	-0.348108
103	53.4328	-0.956999	-1.88271
104	50.7611	3.95001	-0.475439
105	48.2231	1.24766	0.0813098
106	45.8119	-0.382397	1.86754
107	43.5213	-0.370128	1.90578
108	41.3453	-1.96576	-0.611143
109	39.278	-1.65703	1.52257
110	37.3141	-1.20823	-0.436956
111	35.4484	1.94549	0.465925
112	33.676	2.9028	-1.04059
113	31.9922	-0.822596	-1.58248
114	30.3926	3.85644	-0.272588
115	28.8729	2.56093	-0.303601
116	27.4293	3.65667	0.399815
117	26.0578	1.96014	0.571629
118	24.7549	2.27802	1.30951
119	23.5172	2.46974	0.287138
120	22.3413	3.7973	-0.0925436
121	21.2243	1.67174	-1.46222



**Таблица 11** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2;$   
4] (продолжение)

TSiSa_lab_3 X			
122	20.1631	1.67174	-1.46222
123	19.1549	-1.97052	-0.644172
124	18.1972	3.20878	0.318569
125	17.2873	1.07315	1.47648
126	16.4229	-1.60704	1.66643
127	15.6018	2.59682	-0.514828
128	14.8217	1.54613	-1.70274
129	14.0806	1.54613	-1.70274
130	13.3766	0.631672	0.0327049
131	12.7078	1.66698	-1.4826
132	12.0724	-0.619709	0.0840208
133	11.4687	-1.536	1.69334
134	10.8953	0.569231	-0.570601
135	10.3505	-1.39097	1.10007
136	9.83302	3.27012	0.560819
137	9.34136	2.77297	-1.13967
138	8.8743	-1.59697	1.68327
139	8.43058	3.91284	-0.408846
140	8.00905	-1.71288	1.25473
141	7.6086	2.02551	0.988606
142	7.22817	-0.303659	1.98576
143	6.86676	3.77789	-0.0273949
144	6.52342	3.77789	-0.0273949
145	6.19725	3.77789	-0.0273949
146	5.88739	0.257759	-1.91304
147	5.59302	2.83908	-1.14873
148	5.31337	2.83908	-1.14873
149	5.0477	2.83908	-1.14873
150	4.79532	2.83908	-1.14873
151	4.55555	0.545244	-0.792162
152	4.32777	0.545244	-0.792162
153	4.11138	0.798303	1.44341
154	3.90581	3.26591	0.546145
155	3.71052	3.73119	0.136487
156	3.525	1.92041	0.277435
157	3.34875	3.79565	-0.0871063
158	3.18131	2.54537	-0.206698
159	3.02224	2.16962	1.45116
160	2.87113	3.85351	-0.26447
161	2.72758	3.60448	0.567181
162	2.5912	1.98651	0.751703
163	2.46164	2.57411	-0.383383

**Таблица 12** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2;$   
4] (продолжение)

TSiSa_lab_3 ✕			
164	2.33856	2.57411	-0.383383
165	2.22163	0.500565	-1.17384
166	2.11055	0.500565	-1.17384
167	2.00502	3.98883	-0.523414
168	1.90477	1.24564	0.0995646
169	1.80953	0.509537	-1.10114
170	1.71905	-0.122013	1.14478
171	1.6331	0.392529	-1.83067
172	1.55145	0.392529	-1.83067
173	1.47387	0.392529	-1.83067
174	1.40018	0.30134	-1.98459
175	1.33017	0.30134	-1.98459
176	1.26366	0.334483	-1.9758
177	1.20048	0.334483	-1.9758
178	1.14045	0.334483	-1.9758
179	1.08343	2.77828	-1.14518
180	1.02926	2.51588	-0.017071
181	0.977798	-1.40654	1.2009
182	0.928908	3.65319	0.411622
183	0.882462	0.656758	0.275868
184	0.838339	0.656758	0.275868
185	0.796422	2.99161	-0.732651
186	0.756601	2.99161	-0.732651
187	0.718771	2.99161	-0.732651
188	0.682833	2.99161	-0.732651
189	0.648691	1.51958	-1.66872
190	0.616256	1.51958	-1.66872
191	0.585444	1.51958	-1.66872
192	0.556171	1.51958	-1.66872
193	0.528363	1.51958	-1.66872
194	0.501945	1.51958	-1.66872
195	0.476847	1.51958	-1.66872
196	0.453005	1.51958	-1.66872
197	0.430355	1.51958	-1.66872
198	0.408837	1.51958	-1.66872
199	0.388395	1.51958	-1.66872
200	0.368975	1.51958	-1.66872
201	0.350527	1.51958	-1.66872
202	0.333	1.51958	-1.66872
203	0.31635	1.51958	-1.66872
204	0.300533	1.51958	-1.66872
205	0.285506	1.51958	-1.66872

**Таблица 13** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2;$   
4] (продолжение)

TSiSa_lab_3 X			
206	0.271231	-0.820582	-1.57184
207	0.257669	-0.820582	-1.57184
208	0.244786	0.266549	-1.93498
209	0.232547	0.266549	-1.93498
210	0.220919	-0.95352	-1.88561
211	0.209873	-0.95352	-1.88561
212	0.19938	-0.95352	-1.88561
213	0.189411	-0.95352	-1.88561
214	0.17994	-0.95352	-1.88561
215	0.170943	-0.95352	-1.88561
216	0.162396	-0.95352	-1.88561
217	0.154276	-0.95352	-1.88561
218	0.146562	-0.95352	-1.88561
219	0.139234	-0.95352	-1.88561
220	0.132272	-0.95352	-1.88561
221	0.125659	-0.95352	-1.88561
222	0.119376	-0.95352	-1.88561
223	0.113407	-0.95352	-1.88561
224	0.107737	-0.95352	-1.88561
225	0.10235	-0.95352	-1.88561
226	0.0972324	0.289987	-1.97499
227	0.0923708	-0.939421	-1.89148
228	0.0877523	-0.939421	-1.89148
229	0.0833647	-0.939421	-1.89148
230	0.0791964	-0.939421	-1.89148
231	0.0752366	-0.939421	-1.89148
232	0.0714748	-0.939421	-1.89148
233	0.067901	-0.939421	-1.89148
234	0.064506	-0.939421	-1.89148
235	0.0612807	-0.939421	-1.89148
236	0.0582167	-0.939421	-1.89148
237	0.0553058	-0.939421	-1.89148
238	0.0525405	-0.939421	-1.89148
239	0.0499135	-0.939421	-1.89148
240	0.0474178	-0.939421	-1.89148
241	0.0450469	-0.939421	-1.89148
242	0.0427946	-0.939421	-1.89148
243	0.0406549	-0.939421	-1.89148
244	0.0386221	-0.939421	-1.89148
245	0.036691	-0.939421	-1.89148
246	0.0348565	0.348033	-1.9565
247	0.0331136	0.348033	-1.9565



**Таблица 14** – Имитация отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2; 4]$  (продолжение)

248	0.031458	0.348033	-1.9565
249	0.0298851	0.348033	-1.9565
250	0.0283908	0.348033	-1.9565
251	0.0269713	0.348033	-1.9565
252	0.0256227	0.303354	-1.98562
253	0.0243416	0.303354	-1.98562
254	0.0231245	0.303354	-1.98562
255	0.0219683	0.303354	-1.98562
256	0.0208699	0.303354	-1.98562
257	0.0198264	0.303354	-1.98562
258	0.018835	0.303354	-1.98562
259	0.0178933	0.303354	-1.98562
260	0.0169986	0.303354	-1.98562
261	0.0161487	0.303354	-1.98562
262	0.0153413	0.303354	-1.98562
263	0.0145742	0.303354	-1.98562
264	0.0138455	0.303354	-1.98562
265	0.0131532	0.303354	-1.98562
266	0.0124956	0.303354	-1.98562
267	0.0118708	0.303354	-1.98562
268	0.0112772	0.303354	-1.98562
269	0.0107134	0.303354	-1.98562
270	0.0101777	0.303354	-1.98562
Result: Xmin = 0.303354, Fmin = -1.98562			

270 0.0101777 0.303354 -1.98562  
Result: Xmin = 0.303354, Fmin = -1.98562  
33:37:37: C:\Users\USER\Desktop\Example\TCuGal\build-TS46a-1

**Рисунок 4** – Результат имитации отжига для  $(-\cos 0.5x - 1) * \sin(5 * x)$  на  $[-2; 4]$

#### **4. Выводы**

В данной лабораторной работе были найдены минимумы двух унимодальных функций с помощью метода имитации отжига. Из приведенного выше хода работы можно сделать вывод, что для достижения заданной погрешности методу требуется не очень большое количество шагов, а также что находится именно точка абсолютного минимума на заданном отрезке. Преимущество используемого метода именно в том, что с большой вероятностью будет найдена именно точка абсолютного минимума.



## 5. Контрольный вопрос

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

Сущность метода имитации отжига (Metropolis-Hastings algorithm, МН) заключается в создании стохастического процесса, который имитирует физическую систему, подверженную влиянию температуры. В контексте оптимизации этот "тепловой" процесс помогает системе преодолеть локальные минимумы и найти глобальный минимум функции.

Метод имитации отжига работает следующим образом:

1. Инициализация начальной температуры и системы в некотором состоянии.
2. Генерация случайного изменения состояния системы (обычно называемого "кандидатом").
3. Расчет энергии нового состояния (кандидата).
4. Если энергия нового состояния меньше энергии текущего состояния, то система переходит в новое состояние. Если новое состояние имеет более высокую энергию, но разница не превышает некоторой пороговой величины, то переход происходит с определенной вероятностью. Эта вероятность зависит от текущей температуры и разности энергий текущего и нового состояний.
5. Система охлаждает температуру и возвращается к шагу 2, повторяя процесс до тех пор, пока не будет найдено оптимальное решение или пока не будет достигнуто заданное количество итераций.

Область применимости метода имитации отжига включает оптимизацию функций, планирование, машинное обучение, комбинаторную оптимизацию и другие области, где требуется нахождение глобального минимума функции.

Однако этот метод может быть неэффективен при решении задач с большим числом локальных минимумов или задач, требующих большого числа итераций для достижения оптимального решения.

## **2. Поясните принцип разбиения интервала при данном поиске.**

Принцип разбиения интервала заключается в разделении исходного интервала поиска на более мелкие подинтервалы и последующем исследовании каждого из них. Идея состоит в том, чтобы уменьшить область поиска и сосредоточить усилия на более узкой области, где может находиться оптимальное решение.

Алгоритм разбиения интервала обычно включает следующие шаги:

- Определение начального интервала, внутри которого, по предположениям, находится оптимальное решение. Этот интервал может быть определен на основе предыдущих знаний о проблеме или просто взят как некоторый диапазон возможных значений.

- Разбиение исходного интервала на более мелкие части, обычно путем нахождения некоторого значения в середине интервала и деления его на два подинтервала.

- Исследование каждого подинтервала, возможно, с использованием более точных методов поиска, таких как метод золотого сечения или метод Фибоначчи.

- Если оптимальное решение не найдено, возврат к шагу разбиения интервала и деление подинтервалов на еще более мелкие части. Этот процесс повторяется до тех пор, пока оптимальное решение не будет найдено или пока не будут исследованы все возможные значения.

## **3. Назовите основные достоинства и недостатки данного метода поиска. Какова его вычислительная сложность?**

Метод имитации отжига имеет следующие достоинства:

- Он способен преодолеть локальные оптимумы, что делает его эффективным при решении сложных задач оптимизации.

- Метод не требует знания аналитического вида функции, что позволяет использовать его для оптимизации функций с неизвестной формой.

- Он может работать с функциями, имеющими шум или выбросы.

Однако у метода имитации отжига есть и недостатки:

- Эффективность метода зависит от выбора начальных параметров и может быть низкой, если параметры выбраны неудачно.

- При увеличении размерности задачи время поиска оптимального решения может значительно увеличиваться.

- В некоторых случаях метод может не обеспечить сходимость к глобальному оптимуму.

Вычислительная сложность метода имитации отжига зависит от количества итераций, необходимых для достижения оптимального решения, и от сложности расчета функции энергии.

В общем случае вычислительная сложность может варьироваться от  $O(n^2)$  до  $O(n!)$ , где  $n$  - размерность задачи.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А. Результат программы

=====  
KULIKOVA ALYONA IU8-11M  
LAB #3  
variant #5  
=====

\*\*\*\* Function:  $(-\cos(0.5 * x) - 1)$  , interval:  $[-2,4]$  \*\*\*\*

N	T	x	f(x)
1	10000	1.05008	-1.8653
2	9500	0.463027	-1.97332
3	9025	0.422926	-1.97772
4	8573.75	0.142582	-1.99746
5	8145.06	-1.40434	-1.76344
6	7737.81	2.35951	-1.38115
7	7350.92	0.924833	-1.89498
8	6983.37	0.821192	-1.91688
9	6634.2	1.48643	-1.7363
10	6302.49	0.970794	-1.88449
11	5987.37	0.353526	-1.98442
12	5688	-1.17307	-1.83286
13	5403.6	1.54942	-1.71462
14	5133.42	-1.80975	-1.61778
15	4876.75	-0.859218	-1.90913
16	4632.91	0.736778	-1.93291
17	4401.27	-0.291574	-1.98939
18	4181.2	2.72793	-1.20536
19	3972.14	3.94726	-0.607971
20	3773.54	0.385754	-1.98146
21	3584.86	1.89477	-1.58381
22	3405.62	2.96121	-1.09007
23	3235.34	1.32255	-1.78921
24	3073.57	-1.22251	-1.81893
25	2919.89	2.92624	-1.10747
26	2773.9	3.95624	-0.603848
27	2635.2	1.46117	-1.74479
28	2503.44	2.82168	-1.15927
29	2378.27	-1.29777	-1.79676
30	2259.36	-0.0974761	-1.99881
31	2146.39	1.322	-1.78938
32	2039.07	3.60375	-0.770973
33	1937.11	1.62944	-1.68607
34	1840.26	3.41935	-0.861565
35	1748.25	-1.04453	-1.86669
36	1660.83	2.2848	-1.41541
37	1577.79	0.749413	-1.93062
38	1498.9	1.68365	-1.6661
39	1423.96	2.52522	-1.30333
40	1352.76	0.0918607	-1.99895

41	1285.12	3.46422	-0.839386
42	1220.87	-1.50871	-1.72871
43	1159.82	2.957	-1.09217
44	1101.83	2.417	-1.35442
45	1046.74	2.37288	-1.37496
46	994.403	2.34944	-1.3858
47	944.682	2.33241	-1.39364
48	897.448	1.30699	-1.79397
49	852.576	2.62923	-1.25339
50	809.947	-0.353832	-1.98439
51	769.45	1.35643	-1.7787
52	730.977	1.19529	-1.82666
53	694.428	-1.17618	-1.832
54	659.707	3.51823	-0.81279
55	626.722	3.00534	-1.06807
56	595.386	2.09088	-1.50152
57	565.616	3.17014	-0.985726
58	537.335	1.67467	-1.66944
59	510.469	3.8894	-0.634747
60	484.945	2.558	-1.28767
61	460.698	3.72039	-0.714624
62	437.663	2.4593	-1.33457
63	415.78	0.734031	-1.9334
64	394.991	-0.690939	-1.94092
65	375.241	0.799768	-1.92111
66	356.479	-1.05789	-1.86334
67	338.655	1.82684	-1.61104
68	321.723	3.06467	-1.03845
69	305.636	3.2031	-0.969251
70	290.355	3.14267	-0.999459
71	275.837	1.83471	-1.60792
72	262.045	0.239265	-1.99285
73	248.943	1.26029	-1.80794
74	236.496	0.150822	-1.99716
75	224.671	-0.0731223	-1.99933
76	213.437	-1.10623	-1.85089
77	202.765	1.73492	-1.64677
78	192.627	1.24894	-1.81127
79	182.996	-1.25089	-1.8107
80	173.846	2.53383	-1.29923
81	165.154	1.09549	-1.8537
82	156.896	-1.48088	-1.73817
83	149.051	2.33882	-1.3907
84	141.599	1.80926	-1.61798
85	134.519	3.62682	-0.75976
86	127.793	0.931242	-1.89354
87	121.403	-1.79546	-1.62338
88	115.333	0.420545	-1.97797
89	109.566	3.35655	-0.892729
90	104.088	1.90283	-1.58053
91	98.8836	3.2985	-0.921626
92	93.9395	0.507889	-1.96793
93	89.2425	2.59243	-1.27115



94	84.7804	1.50493	-1.73001
95	80.5413	1.49376	-1.73381
96	76.5143	3.95825	-0.602924
97	72.6886	0.668844	-1.9446
98	69.0541	-1.88263	-1.58873
99	65.6014	0.540117	-1.96376
100	62.3214	0.681845	-1.94245
101	59.2053	2.84329	-1.1486
102	56.245	-1.01724	-1.87342
103	53.4328	3.71838	-0.71559
104	50.7611	1.90759	-1.57859
105	48.2231	2.34706	-1.3869
106	45.8119	-0.633625	-1.95023
107	43.5213	0.440138	-1.97588
108	41.3453	2.25147	-1.43051
109	39.278	1.25333	-1.80999
110	37.3141	3.09873	-1.02143
111	35.4484	-1.65154	-1.67799
112	33.676	0.149724	-1.9972
113	31.9922	1.19199	-1.82759
114	30.3926	0.00195318	-2
115	28.8729	1.88488	-1.58781
116	27.4293	-0.756859	-1.92925
117	26.0578	1.88525	-1.58767
118	24.7549	1.43461	-1.75358
119	23.5172	-0.708518	-1.9379
120	22.3413	3.74438	-0.70315
121	21.2243	0.365062	-1.98339
122	20.1631	2.00885	-1.53657
123	19.1549	3.62938	-0.758516
124	18.1972	0.527665	-1.9654
125	17.2873	1.89367	-1.58425
126	16.4229	3.34666	-0.897646
127	15.6018	-0.633076	-1.95032
128	14.8217	-0.372509	-1.9827
129	14.0806	-0.270333	-1.99088
130	13.3766	2.3824	-1.37055
131	12.7078	2.33607	-1.39196
132	12.0724	0.135624	-1.9977
133	11.4687	0.190741	-1.99546
134	10.8953	-0.150212	-1.99718
135	10.3505	1.58184	-1.70319
136	9.83302	1.36155	-1.77708
137	9.34136	2.48347	-1.32315
138	8.8743	0.977752	-1.88286
139	8.43058	1.92462	-1.57163
140	8.00905	1.94641	-1.56265
141	7.6086	1.14402	-1.84082
142	7.22817	1.0596	-1.86291
143	6.86676	2.48347	-1.32315
144	6.52342	2.48347	-1.32315
145	6.19725	-1.38383	-1.77003
146	5.88739	-0.274178	-1.99062

147	5.59302	0.558061	-1.96132
148	5.31337	-0.725547	-1.93492
149	5.0477 1.62285	-1.68846	
150	4.79532	-1.45415	-1.74712
151	4.55555	2.4919	-1.31916
152	4.32777	1.27915	-1.80235
153	4.11138	0.509537	-1.96772
154	3.90581	1.17771	-1.83158
155	3.71052	3.09616	-1.02271
156	3.525 -0.438612	-1.97605	
157	3.34875	0.568682	-1.95985
158	3.18131	2.81289	-1.16361
159	3.02224	0.148259	-1.99725
160	2.87113	-0.287729	-1.98967
161	2.72758	-0.287729	-1.98967
162	2.5912 0.681661	-1.94248	
163	2.46164	-1.57903	-1.70419
164	2.33856	2.8171	-1.16153
165	2.22163	-1.73943	-1.64504
166	2.11055	2.16248	-1.47023
167	2.00502	2.74752	-1.19576
168	1.90477	3.55834	-0.793133
169	1.80953	-1.56273	-1.70995
170	1.71905	-0.565325	-1.96032
171	1.6331 -0.280404	-1.99019	
172	1.55145	-0.280404	-1.99019
173	1.47387	-1.34684	-1.78169
174	1.40018	0.1695	-1.99641
175	1.33017	2.16907	-1.46732
176	1.26366	0.542497	-1.96344
177	1.20048	-0.997467	-1.87819
178	1.14045	-0.925504	-1.89483
179	1.08343	-0.969268	-1.88485
180	1.02926	-1.3994	-1.76504
181	0.977798	-1.3994	-1.76504
182	0.928908	2.82461	-1.15783
183	0.882462	1.82189	-1.613
184	0.838339	-0.219611	-1.99398
185	0.796422	0.226447	-1.9936
186	0.756601	0.226447	-1.9936
187	0.718771	-0.740745	-1.93219
188	0.682833	-0.740745	-1.93219
189	0.648691	0.389782	-1.98107
190	0.616256	0.389782	-1.98107
191	0.585444	2.71328	-1.21252
192	0.556171	0.558428	-1.96127
193	0.528363	-1.41643	-1.75953
194	0.501945	-1.41643	-1.75953
195	0.476847	-0.860134	-1.90894
196	0.453005	1.59447	-1.69869
197	0.430355	1.47472	-1.74025
198	0.408837	-1.01669	-1.87355
199	0.388395	-1.01669	-1.87355

200	0.368975	-1.01669	-1.87355
201	0.350527	-1.55431	-1.71291
202	0.333	-1.55431	-1.71291
203	0.31635	0.343455	-1.98529
204	0.300533	0.343455	-1.98529
205	0.285506	0.343455	-1.98529
206	0.271231	0.740989	-1.93215
207	0.257669	0.740989	-1.93215
208	0.244786	0.740989	-1.93215
209	0.232547	-0.552141	-1.96213
210	0.220919	0.156316	-1.99695
211	0.209873	0.156316	-1.99695
212	0.19938	-0.00262459	-2
213	0.189411	-0.00262459	-2
214	0.17994	0.0603656	-1.99954
215	0.170943	0.833827	-1.91434
216	0.162396	1.94751	-1.5622
217	0.154276	1.94751	-1.5622
218	0.146562	-0.0524308	-1.99966
219	0.139234	-0.137577	-1.99763
220	0.132272	-0.137577	-1.99763
221	0.125659	-0.837977	-1.9135
222	0.119376	0.498733	-1.96907
223	0.113407	0.498733	-1.96907
224	0.107737	0.498733	-1.96907
225	0.10235	0.164556	-1.99662
226	0.0972324	-0.443739	-1.97549
227	0.0923708	-0.392102	-1.98084
228	0.0877523	-0.392102	-1.98084
229	0.0833647	-0.392102	-1.98084
230	0.0791964	-0.392102	-1.98084
231	0.0752366	-0.392102	-1.98084
232	0.0714748	0.702902	-1.93887
233	0.067901	-0.974578	-1.88361
234	0.064506	0.230293	-1.99338
235	0.0612807	-0.56679	-1.96011
236	0.0582167	-0.56679	-1.96011
237	0.0553058	-0.56679	-1.96011
238	0.0525405	-0.56679	-1.96011
239	0.0499135	-0.56679	-1.96011
240	0.0474178	0.160344	-1.99679
241	0.0450469	0.488296	-1.97034
242	0.0427946	0.488296	-1.97034
243	0.0406549	-0.718223	-1.93621
244	0.0386221	-0.718223	-1.93621
245	0.036691	-0.298166	-1.98891
246	0.0348565	-0.298166	-1.98891
247	0.0331136	-0.298166	-1.98891
248	0.031458	-0.298166	-1.98891
249	0.0298851	-0.298166	-1.98891
250	0.0283908	-0.298166	-1.98891
251	0.0269713	-0.298166	-1.98891
252	0.0256227	-0.298166	-1.98891

253	0.0243416	-0.298166	-1.98891
254	0.0231245	-0.298166	-1.98891
255	0.0219683	-0.298166	-1.98891
256	0.0208699	0.0112918	-1.99998
257	0.0198264	0.0112918	-1.99998
258	0.018835	0.0112918	-1.99998
259	0.0178933	0.0112918	-1.99998
260	0.0169986	0.104862	-1.99863
261	0.0161487	0.104862	-1.99863
262	0.0153413	0.104862	-1.99863
263	0.0145742	0.104862	-1.99863
264	0.0138455	0.104862	-1.99863
265	0.0131532	0.104862	-1.99863
266	0.0124956	0.104862	-1.99863
267	0.0118708	0.104862	-1.99863
268	0.0112772	0.104862	-1.99863
269	0.0107134	0.104862	-1.99863
270	0.0101777	0.104862	-1.99863

Result: Xmin = 0.104862, Fmin = -1.99863

\*\*\*\* Function:  $(-\cos(0.5 * x) - 1) * \sin(5 * x)$ , interval:  $[-2,4]$  \*\*\*\*

N	T	x	f(x)
1	10000	3.17765	0.176071
2	9500	3.859	-0.279613
3	9025	0.396191	-1.81618
4	8573.75		-1.83355
5	8145.06		-1.11008
6	7737.81		3.14652
7	7350.92		-0.909574
8	6983.37		-1.13828
9	6634.2	0.19422	-1.64712
10	6302.49		-0.903348
11	5987.37		-0.00170904
12	5688	0.591388	-0.359245
13	5403.6	-1.41624	1.25982
14	5133.42		-1.67406
15	4876.75		1.93469
16	4632.91		-1.89856
17	4401.27		-1.83355
18	4181.2	1.63109	-1.60945
19	3972.14		-1.16849
20	3773.54		3.96484
21	3584.86		3.00406
22	3405.62		1.56261
23	3235.34		1.47618
24	3073.57		-0.212653
25	2919.89		3.07657
26	2773.9	3.17966	0.1856
27	2635.2	3.89782	-0.376508
28	2503.44		-1.08646
29	2378.27		3.38273

30	2259.36	-0.274911	1.95236
31	2146.39	3.56273	0.680501
32	2039.07	0.862575	1.75814
33	1937.11	1.37016	-0.953933
34	1840.26	0.325144	-1.98382
35	1748.25	-0.974761	-1.85908
36	1660.83	1.13651	1.04152
37	1577.79	1.93725	0.404957
38	1498.9	0.957976	1.8818
39	1423.96	-1.71709	1.23053
40	1352.76	0.349498	-1.95387
41	1285.12	2.97659	-0.795081
42	1220.87	3.60063	0.578507
43	1159.82	1.79791	-0.68407
44	1101.83	1.58898	-1.69363
45	1046.74	1.14365	0.985549
46	994.403	0.414869	-1.73298
47	944.682	-0.636006	-0.0749265
48	897.448	-1.70885	1.27738
49	852.576	3.26902	0.557021
50	809.947	0.812952	1.53005
51	769.45	-1.05991	-1.55085
52	730.977	0.446913	-1.55577
53	694.428	-1.54827	1.70416
54	659.707	0.00341807	-0.034179
55	626.722	3.97565	-0.509649
56	595.386	1.33262	-0.662373
57	565.616	0.376049	-1.88822
58	537.335	0.0975372	-0.936608
59	510.469	0.913297	1.87737
60	484.945	2.03504	1.04027
61	460.698	2.40986	0.671167
62	437.663	1.74664	-1.0474
63	415.78	2.06909	1.20272
64	394.991	-0.824427	-1.59201
65	375.241	3.54936	0.711747
66	356.479	1.43956	-1.38811
67	338.655	-0.349803	1.95331
68	321.723	2.90829	-1.02638
69	305.636	-0.337352	1.97247
70	290.355	0.237434	-1.8481
71	275.837	3.32304	0.716426
72	262.045	2.36244	0.944737
73	248.943	-1.00516	-1.78495
74	236.496	-1.25034	-0.056976
75	224.671	1.8067	-0.617464
76	213.437	-0.372875	1.89784
77	202.765	-0.239387	1.85519
78	192.627	-0.953154	-1.88588
79	182.996	-1.13205	-1.07583
80	173.846	3.42283	0.848222
81	165.154	2.58235	-0.432016
82	156.896	-1.17325	-0.742186



83	149.051	-1.68102	1.42025
84	141.599	-0.0982086	0.942523
85	134.519	-1.81487	0.554657
86	127.793	3.89819	-0.377333
87	121.403	1.36796	-0.937805
88	115.333	3.23936	0.446639
89	109.566	0.231758	-1.82649
90	104.088	-0.270699	1.94404
91	98.8836	-0.243599	1.86986
92	93.9395	3.01486	-0.629583
93	89.2425	-0.0427259	0.423968
94	84.7804	0.277718	-1.95743
95	80.5413	0.277718	-1.95743
96	76.5143	3.7691	0.00281465
97	72.6886	0.92758	1.88911
98	69.0541	1.2103	0.418433
99	65.6014	2.21796	1.43916
100	62.3214	1.59648	-1.68398
101	59.2053	1.61571	-1.64859
102	56.245	-1.92969	-0.348108
103	53.4328	-0.956999	-1.88271
104	50.7611	3.95001	-0.475439
105	48.2231	1.24766	0.0813098
106	45.8119	-0.382397	1.86754
107	43.5213	-0.370128	1.90578
108	41.3453	-1.96576	-0.611143
109	39.278	-1.65703	1.52257
110	37.3141	-1.20823	-0.436956
111	35.4484	1.94549	0.465925
112	33.676	2.9028	-1.04059
113	31.9922	-0.822596	-1.58248
114	30.3926	3.85644	-0.272588
115	28.8729	2.56093	-0.303601
116	27.4293	3.65667	0.399815
117	26.0578	1.96014	0.571629
118	24.7549	2.27802	1.30951
119	23.5172	2.46974	0.287138
120	22.3413	3.7973	-0.0925436
121	21.2243	1.67174	-1.46222
122	20.1631	1.67174	-1.46222
123	19.1549	-1.97052	-0.644172
124	18.1972	3.20878	0.318569
125	17.2873	1.07315	1.47648
126	16.4229	-1.60704	1.66643
127	15.6018	2.59682	-0.514828
128	14.8217	1.54613	-1.70274
129	14.0806	1.54613	-1.70274
130	13.3766	0.631672	0.0327049
131	12.7078	1.66698	-1.4826
132	12.0724	-0.619709	0.0840208
133	11.4687	-1.536	1.69334
134	10.8953	0.569231	-0.570601
135	10.3505	-1.39097	1.10007

136	9.83302	3.27012	0.560819
137	9.34136	2.77297	-1.13967
138	8.8743	-1.59697	1.68327
139	8.43058	3.91284	-0.408846
140	8.00905	-1.71288	1.25473
141	7.6086	2.02551	0.988606
142	7.22817	-0.303659	1.98576
143	6.86676	3.77789	-0.0273949
144	6.52342	3.77789	-0.0273949
145	6.19725	3.77789	-0.0273949
146	5.88739	0.257759	-1.91304
147	5.59302	2.83908	-1.14873
148	5.31337	2.83908	-1.14873
149	5.0477	2.83908	-1.14873
150	4.79532	2.83908	-1.14873
151	4.55555	0.545244	-0.792162
152	4.32777	0.545244	-0.792162
153	4.11138	0.798303	1.44341
154	3.90581	3.26591	0.546145
155	3.71052	3.73119	0.136487
156	3.525	1.92041	0.277435
157	3.34875	3.79565	-0.0871063
158	3.18131	2.54537	-0.206698
159	3.02224	2.16962	1.45116
160	2.87113	3.85351	-0.26447
161	2.72758	3.60448	0.567181
162	2.5912	1.98651	0.751703
163	2.46164	2.57411	-0.383383
164	2.33856	2.57411	-0.383383
165	2.22163	0.500565	-1.17384
166	2.11055	0.500565	-1.17384
167	2.00502	3.98883	-0.523414
168	1.90477	1.24564	0.0995646
169	1.80953	0.509537	-1.10114
170	1.71905	-0.122013	1.14478
171	1.6331	0.392529	-1.83067
172	1.55145	0.392529	-1.83067
173	1.47387	0.392529	-1.83067
174	1.40018	0.30134	-1.98459
175	1.33017	0.30134	-1.98459
176	1.26366	0.334483	-1.9758
177	1.20048	0.334483	-1.9758
178	1.14045	0.334483	-1.9758
179	1.08343	2.77828	-1.14518
180	1.02926	2.51588	-0.017071
181	0.977798	-1.40654	1.2009
182	0.928908	3.65319	0.411622
183	0.882462	0.656758	0.275868
184	0.838339	0.656758	0.275868
185	0.796422	2.99161	-0.732651
186	0.756601	2.99161	-0.732651
187	0.718771	2.99161	-0.732651
188	0.682833	2.99161	-0.732651

189	0.648691	1.51958	-1.66872
190	0.616256	1.51958	-1.66872
191	0.585444	1.51958	-1.66872
192	0.556171	1.51958	-1.66872
193	0.528363	1.51958	-1.66872
194	0.501945	1.51958	-1.66872
195	0.476847	1.51958	-1.66872
196	0.453005	1.51958	-1.66872
197	0.430355	1.51958	-1.66872
198	0.408837	1.51958	-1.66872
199	0.388395	1.51958	-1.66872
200	0.368975	1.51958	-1.66872
201	0.350527	1.51958	-1.66872
202	0.333	1.51958	-1.66872
203	0.31635	1.51958	-1.66872
204	0.300533	1.51958	-1.66872
205	0.285506	1.51958	-1.66872
206	0.271231	-0.820582	-1.57184
207	0.257669	-0.820582	-1.57184
208	0.244786	0.266549	-1.93498
209	0.232547	0.266549	-1.93498
210	0.220919	-0.95352	-1.88561
211	0.209873	-0.95352	-1.88561
212	0.19938	-0.95352	-1.88561
213	0.189411	-0.95352	-1.88561
214	0.17994	-0.95352	-1.88561
215	0.170943	-0.95352	-1.88561
216	0.162396	-0.95352	-1.88561
217	0.154276	-0.95352	-1.88561
218	0.146562	-0.95352	-1.88561
219	0.139234	-0.95352	-1.88561
220	0.132272	-0.95352	-1.88561
221	0.125659	-0.95352	-1.88561
222	0.119376	-0.95352	-1.88561
223	0.113407	-0.95352	-1.88561
224	0.107737	-0.95352	-1.88561
225	0.10235	-0.95352	-1.88561
226	0.0972324	0.289987	-1.97499
227	0.0923708	-0.939421	-1.89148
228	0.0877523	-0.939421	-1.89148
229	0.0833647	-0.939421	-1.89148
230	0.0791964	-0.939421	-1.89148
231	0.0752366	-0.939421	-1.89148
232	0.0714748	-0.939421	-1.89148
233	0.067901	-0.939421	-1.89148
234	0.064506	-0.939421	-1.89148
235	0.0612807	-0.939421	-1.89148
236	0.0582167	-0.939421	-1.89148
237	0.0553058	-0.939421	-1.89148
238	0.0525405	-0.939421	-1.89148
239	0.0499135	-0.939421	-1.89148
240	0.0474178	-0.939421	-1.89148
241	0.0450469	-0.939421	-1.89148

242	0.0427946	-0.939421	-1.89148
243	0.0406549	-0.939421	-1.89148
244	0.0386221	-0.939421	-1.89148
245	0.036691	-0.939421	-1.89148
246	0.0348565	0.348033	-1.9565
247	0.0331136	0.348033	-1.9565
248	0.031458	0.348033	-1.9565
249	0.0298851	0.348033	-1.9565
250	0.0283908	0.348033	-1.9565
251	0.0269713	0.348033	-1.9565
252	0.0256227	0.303354	-1.98562
253	0.0243416	0.303354	-1.98562
254	0.0231245	0.303354	-1.98562
255	0.0219683	0.303354	-1.98562
256	0.0208699	0.303354	-1.98562
257	0.0198264	0.303354	-1.98562
258	0.018835	0.303354	-1.98562
259	0.0178933	0.303354	-1.98562
260	0.0169986	0.303354	-1.98562
261	0.0161487	0.303354	-1.98562
262	0.0153413	0.303354	-1.98562
263	0.0145742	0.303354	-1.98562
264	0.0138455	0.303354	-1.98562
265	0.0131532	0.303354	-1.98562
266	0.0124956	0.303354	-1.98562
267	0.0118708	0.303354	-1.98562
268	0.0112772	0.303354	-1.98562
269	0.0107134	0.303354	-1.98562
270	0.0101777	0.303354	-1.98562

Result: Xmin = 0.303354, Fmin = -1.98562

## **ПРИЛОЖЕНИЕ Б. Исходный код**

Ссылка на git-репозиторий: [https://github.com/Kulikova-A18/TSiSa\\_lab\\_3/tree/main](https://github.com/Kulikova-A18/TSiSa_lab_3/tree/main)