

**Министерство образования Российской Федерации**  
**МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ**  
**УНИВЕРСИТЕТ**  
**им. Н.Э. БАУМАНА**

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

**ТЕОРИЯ СИСТЕМ И СИСТЕМНЫЙ**  
**АНАЛИЗ**

**Лабораторная работа №3 на тему:**  
**«Исследование алгоритма имитации отжига»**

Вариант 7

**Преподаватель:**  
Строганов И.С.

**Студент:**  
Заботин Д.В.

**Группа:**  
ИУ8-31

Москва 2021

## Цель работы

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

## Постановка задачи

На интервале  $[a, b]$  задана унимодальная функция одного переменного  $f(x)$ . Используя метод имитации отжига, осуществить поиск минимума  $f(x)$ .

При аналогичных исходных условиях осуществить поиск минимума  $f(x)$ , модулированной сигналом  $\sin 5x$ , т.е. мультимодальной функции  $f(x)\sin 5x$ .

## Ход работы

На интервале  $[1, 4]$  задана унимодальная функция одного переменного  $f(x) = -\sqrt{x} \cdot \sin(x) + 2$ . График этой и модулированной сигналом  $\sin 5x$  функции представлены на рисунках 1 и 2 соответственно.

Реализуем алгоритм имитации отжига следующим образом:

1. Изначально задаются начальная температура ( $T_{max}$ ) и конечная температура ( $T_{min}$ ).
2. Случайно выбирается точка  $x_1$  на отрезке. Вычисляется значение функции в этой точке  $f(x_1)$ .
3. Пока  $T_i > T_{min}$ 
  - 1) Случайно выбирается точка  $x_i$  на отрезке. Вычисляется значение функции в этой точке  $f(x_i)$ .
  - 2) Определяется  $\Delta f = f(x_i) - f(x_{i-1})$ .
  - 3) Если  $\Delta f \leq 0$ , то осуществляется переход в точку  $x_i$ .
  - 4) Если  $\Delta f > 0$ , то переход осуществляется с вероятностью  $P(\Delta f) = e^{\frac{-\Delta f}{T_i}}$ .

5) Понижение температуры:  $T_{i+1}=T_i \cdot 0,95$ .

В качестве значения начальной температуры возьмем  $T_{max}=10000$ ,  
конечной –  $T_{min}=0.1$ .



Рисунок 1 - График унимодальной функции  $f(x)$



Рисунок 2 - График мультимодальной функции  $f(x) \cdot \sin(5x)$

Результаты численного эксперимента для  $f(x)$  представлены в скриншотах 1-9, а для мультимодальной функции – в скриншотах 10 - 19.

В таблицах:  $N$  – номер итерации,  $T$  – текущая температура на итерации,  $x$  и  $f(x)$  – сгенерированная точка и значение функции в ней, соответственно,  $P$  – вероятность перехода в новую точку, ассерт – перешли ли в эту точку,  $x_{best}$ ,  $f(x)_{best}$  – наилучшее значение переменной на начало итерации.

Результат:  $x_{\min} = 1.852$ ,  $y_{\min} = 0.693$

+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+																
	N		T		x		f(x)		P		accept		x best		f(x) best	
-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----																
	1		10000		3.57518		2.79439		0.99991		Y		3.57518		2.79439	
	2		9500		3.64808		2.92655		0.999986		Y		3.64808		2.92655	
	3		9025		3.25491		2.20401		1		Y		3.25491		2.20401	
	4		8573.75		1.11842		1.04882		1		Y		1.11842		1.04882	
	5		8145.06		1.43723		0.81183		1		Y		1.43723		0.81183	
	6		7737.81		2.73419		1.34483		0.999931		Y		2.73419		1.34483	
	7		7350.92		2.8589		1.52836		0.999975		Y		2.8589		1.52836	
	8		6983.37		1.15555		1.01639		1		Y		1.15555		1.01639	
	9		6634.2		1.06785		1.0946		0.999988		Y		1.06785		1.0946	
	10		6302.49		2.86943		1.54465		0.999929		Y		2.86943		1.54465	
	11		5987.37		3.24702		2.18962		0.999892		Y		3.24702		2.18962	
	12		5688		1.5111		0.772924		1		Y		1.5111		0.772924	
	13		5403.6		2.0432		0.727149		1		Y		2.0432		0.727149	
	14		5133.42		3.42907		2.52505		0.99965		Y		3.42907		2.52505	
	15		4876.75		3.55214		2.75222		0.999953		Y		3.55214		2.75222	
	16		4632.91		3.15519		2.02415		1		Y		3.15519		2.02415	
	17		4401.27		1.34892		0.867038		1		Y		1.34892		0.867038	
	18		4181.2		3.20934		2.12128		0.9997		Y		3.20934		2.12128	
	19		3972.14		3.16508		2.04179		1		Y		3.16508		2.04179	
	20		3773.54		3.5264		2.70491		0.999824		Y		3.5264		2.70491	
	21		3584.86		1.84529		0.692441		1		Y		1.84529		0.692441	
	22		3405.62		2.38085		0.936167		0.999928		Y		2.38085		0.936167	
	23		3235.34		3.28232		2.25411		0.999593		Y		3.28232		2.25411	
	24		3073.57		1.99552		0.712878		1		Y		1.99552		0.712878	
	25		2919.89		2.57232		1.1355		0.999855		Y		2.57232		1.1355	

Скриншот 1 - Результат работы алгоритма (часть 1).

	26		2773.9		3.87772		3.32217		0.999212		Y		3.87772		3.32217	
	27		2635.2		3.90811		3.37124		0.999981		Y		3.90811		3.37124	
	28		2503.44		3.06807		1.87133		1		Y		3.06807		1.87133	
	29		2378.27		3.27201		2.23523		0.999847		Y		3.27201		2.23523	
	30		2259.36		3.13576		1.98967		1		Y		3.13576		1.98967	
	31		2146.39		3.3926		2.45749		0.999782		Y		3.3926		2.45749	
	32		2039.07		2.03147		0.723285		1		Y		2.03147		0.723285	
	33		1937.11		3.02111		1.79109		0.999449		Y		3.02111		1.79109	
	34		1840.26		2.16361		0.780061		1		Y		2.16361		0.780061	
	35		1748.25		1.50017		0.77824		1		Y		1.50017		0.77824	
	36		1660.83		1.95213		0.703175		1		Y		1.95213		0.703175	
	37		1577.79		1.41547		0.824586		0.999923		Y		1.41547		0.824586	
	38		1498.9		1.98107		0.709302		1		Y		1.98107		0.709302	
	39		1423.96		2.38715		0.941829		0.999837		Y		2.38715		0.941829	
	40		1352.76		3.62323		2.88174		0.998567		Y		3.62323		2.88174	
	41		1285.12		2.59865		1.16713		1		Y		2.59865		1.16713	
	42		1220.87		3.79586		3.18569		0.998348		Y		3.79586		3.18569	
	43		1159.82		2.64394		1.2238		1		Y		2.64394		1.2238	
	44		1101.83		3.15706		2.02749		0.999271		Y		3.15706		2.02749	
	45		1046.74		3.73022		3.07233		0.999002		Y		3.73022		3.07233	
	46		994.403		3.67512		2.97497		1		Y		3.67512		2.97497	
	47		944.682		1.42064		0.821506		1		Y		1.42064		0.821506	
	48		897.448		1.14779		1.02308		0.999775		Y		1.14779		1.02308	
	49		852.576		2.14975		0.772737		1		Y		2.14975		0.772737	
	50		809.947		1.54603		0.756988		1		Y		1.54603		0.756988	

Скриншот 2 - Результат работы алгоритма (часть 2).

51	769.45	1.28044	0.9158	0.999794	Y	1.28044	0.9158	
52	730.977	1.15119	1.02014	0.999857	Y	1.15119	1.02014	
53	694.428	1.13277	1.03617	0.999977	Y	1.13277	1.03617	
54	659.707	1.66118	0.716392	1	Y	1.66118	0.716392	
55	626.722	2.36045	0.918254	0.999678	Y	2.36045	0.918254	
56	595.386	1.31289	0.892083	1	Y	1.31289	0.892083	
57	565.616	2.89913	1.5912	0.998765	Y	2.89913	1.5912	
58	537.335	2.05083	0.729782	1	Y	2.05083	0.729782	
59	510.469	2.11265	0.754711	0.999951	Y	2.11265	0.754711	
60	484.945	2.70608	1.306	0.998864	Y	2.70608	1.306	
61	460.698	1.34359	0.870654	1	Y	1.34359	0.870654	
62	437.663	3.19739	2.09972	0.997196	Y	3.19739	2.09972	
63	415.78	3.41996	2.50817	0.999018	Y	3.41996	2.50817	
64	394.991	3.43963	2.5446	0.999908	Y	3.43963	2.5446	
65	375.241	1.14997	1.02119	1	Y	1.14997	1.02119	
66	356.479	1.03756	1.12281	0.999715	Y	1.03756	1.12281	
67	338.655	3.50689	2.66897	0.995445	Y	3.50689	2.66897	
68	321.723	3.29592	2.27906	1	Y	3.29592	2.27906	
69	305.636	3.36632	2.40885	0.999575	Y	3.36632	2.40885	
70	290.355	2.57575	1.13956	1	Y	2.57575	1.13956	
71	275.837	2.19294	0.796607	1	Y	2.19294	0.796607	
72	262.045	1.55889	0.751534	1	Y	1.55889	0.751534	
73	248.943	1.28576	0.91184	0.999356	Y	1.28576	0.91184	
74	236.496	2.67733	1.26734	0.998498	Y	2.67733	1.26734	
75	224.671	3.07718	1.88708	0.997245	Y	3.07718	1.88708	

Скриншот 3 - Результат работы алгоритма (часть 3).

76	213.437	3.85549	3.2857	0.993469	Y	3.85549	3.2857	
77	202.765	1.60965	0.732237	1	Y	1.60965	0.732237	
78	192.627	2.11133	0.754114	0.999886	Y	2.11133	0.754114	
79	182.996	2.01386	0.717919	1	Y	2.01386	0.717919	
80	173.846	3.18431	2.0762	0.992217	Y	3.18431	2.0762	
81	165.154	2.0575	0.732165	1	Y	2.0575	0.732165	
82	156.896	2.28868	0.860531	0.999182	Y	2.28868	0.860531	
83	149.051	1.82354	0.692517	1	Y	1.82354	0.692517	
84	141.599	1.22973	0.954941	0.998148	Y	1.22973	0.954941	
85	134.519	3.30778	2.30085	0.990044	Y	3.30778	2.30085	
86	127.793	3.98969	3.49812	0.990675	Y	3.98969	3.49812	
87	121.403	2.57183	1.13492	1	Y	2.57183	1.13492	
88	115.333	1.78603	0.694412	1	Y	1.78603	0.694412	
89	109.566	1.03522	1.12501	0.996078	Y	1.03522	1.12501	
90	104.088	3.18709	2.08119	0.990856	Y	3.18709	2.08119	
91	98.8836	1.36212	0.858217	1	Y	1.36212	0.858217	
92	93.9395	1.86795	0.693169	1	Y	1.86795	0.693169	
93	89.2425	1.49533	0.780644	0.99902	Y	1.49533	0.780644	
94	84.7804	2.76518	1.38875	0.992853	Y	2.76518	1.38875	
95	80.5413	2.82336	1.47426	0.998939	Y	2.82336	1.47426	
96	76.5143	1.04951	1.11161	1	Y	1.04951	1.11161	
97	72.6886	1.71945	0.703183	1	Y	1.71945	0.703183	
98	69.0541	2.08577	0.743087	0.999422	Y	2.08577	0.743087	
99	65.6014	1.46533	0.796218	0.99919	Y	1.46533	0.796218	
100	62.3214	3.43585	2.53759	0.972445	Y	3.43585	2.53759	

Скриншот 4 - Результат работы алгоритма (часть 4).



101	59.2053	3.28587	2.26062	1	Y	3.28587	2.26062	
102	56.245	3.33089	2.34342	0.998529	Y	3.33089	2.34342	
103	53.4328	1.34453	0.870018	1	Y	1.34453	0.870018	
104	50.7611	2.00443	0.715258	1	Y	2.00443	0.715258	
105	48.2231	3.96686	3.46336	0.944606	Y	3.96686	3.46336	
106	45.8119	1.32749	0.88177	1	Y	1.32749	0.88177	
107	43.5213	2.0779	0.739914	1	Y	2.0779	0.739914	
108	41.3453	1.32332	0.884691	0.996504	Y	1.32332	0.884691	
109	39.278	2.21354	0.809087	1	Y	2.21354	0.809087	
110	37.3141	3.54837	2.7453	0.949434	Y	3.54837	2.7453	
111	35.4484	2.47673	1.02907	1	Y	2.47673	1.02907	
112	33.676	3.6871	2.9963	0.943257	Y	3.6871	2.9963	
113	31.9922	1.4192	0.822361	1	Y	1.4192	0.822361	
114	30.3926	3.69676	3.01342	0.930445	Y	3.69676	3.01342	
115	28.8729	2.75986	1.38112	1	Y	2.75986	1.38112	
116	27.4293	3.19688	2.09881	0.974174	Y	3.19688	2.09881	
117	26.0578	1.99145	0.711837	1	Y	1.99145	0.711837	
118	24.7549	2.27145	0.847913	0.994518	Y	2.27145	0.847913	
119	23.5172	3.18224	2.07249	0.949261	Y	3.18224	2.07249	
120	22.3413	2.07383	0.73831	1	Y	2.07383	0.73831	
121	21.2243	2.65574	1.23901	0.976685	Y	2.65574	1.23901	
122	20.1631	3.45586	2.57466	0.935904	Y	3.45586	2.57466	
123	19.1549	2.02263	0.720527	1	Y	2.02263	0.720527	
124	18.1972	3.34952	2.37781	0.912951	Y	3.34952	2.37781	
125	17.2873	3.29273	2.27321	1	Y	3.29273	2.27321	

Скриншот 5 - Результат работы алгоритма (часть 5).

126	16.4229	3.63199	2.89757	0.962696	Y		3.63199	2.89757	
127	15.6018	1.82438	0.6925	1	Y		1.82438	0.6925	
128	14.8217	1.86137	0.692872	0.999975	Y		1.86137	0.692872	
129	14.0806	3.2278	2.15468	0.90139	Y		3.2278	2.15468	
130	13.3766	3.33417	2.34947	0.985544	-		3.2278	2.15468	
131	12.7078	1.91168	0.696922	1	Y		1.91168	0.696922	
132	12.0724	2.57535	1.13909	0.964036	Y		2.57535	1.13909	
133	11.4687	2.20637	0.804663	1	Y		2.20637	0.804663	
134	10.8953	1.82673	0.692458	1	Y		1.82673	0.692458	
135	10.3505	3.708	3.0333	0.797594	Y		3.708	3.0333	
136	9.83302	1.29834	0.902585	1	Y		1.29834	0.902585	
137	9.34136	2.78791	1.42168	0.945946	Y		2.78791	1.42168	
138	8.8743	2.42059	0.972939	1	Y		2.42059	0.972939	
139	8.43058	3.12687	1.97397	0.88804	Y		3.12687	1.97397	
140	8.00905	2.56935	1.13199	1	Y		2.56935	1.13199	
141	7.6086	1.5732	0.74573	1	Y		1.5732	0.74573	
142	7.22817	2.80556	1.44769	0.907452	Y		2.80556	1.44769	
143	6.86676	2.6641	1.24991	1	Y		2.6641	1.24991	
144	6.52342	1.65261	0.71876	1	Y		1.65261	0.71876	
145	6.19725	1.98707	0.710744	1	Y		1.98707	0.710744	
146	5.88739	1.70487	0.70601	1	Y		1.70487	0.70601	
147	5.59302	1.89996	0.695611	1	Y		1.89996	0.695611	
148	5.31337	3.08729	1.90464	0.796487	Y		3.08729	1.90464	
149	5.0477	3.63023	2.89441	0.821944	Y		3.63023	2.89441	
150	4.79532	1.45393	0.802434	1	Y		1.45393	0.802434	

Скриншот 6 - Результат работы алгоритма (часть 6).

101	59.2053	3.28587	2.26062	1	Y	3.28587	2.26062	
102	56.245	3.33089	2.34342	0.998529	Y	3.33089	2.34342	
103	53.4328	1.34453	0.870018	1	Y	1.34453	0.870018	
104	50.7611	2.00443	0.715258	1	Y	2.00443	0.715258	
105	48.2231	3.96686	3.46336	0.944606	Y	3.96686	3.46336	
106	45.8119	1.32749	0.88177	1	Y	1.32749	0.88177	
107	43.5213	2.0779	0.739914	1	Y	2.0779	0.739914	
108	41.3453	1.32332	0.884691	0.996504	Y	1.32332	0.884691	
109	39.278	2.21354	0.809087	1	Y	2.21354	0.809087	
110	37.3141	3.54837	2.7453	0.949434	Y	3.54837	2.7453	
111	35.4484	2.47673	1.02907	1	Y	2.47673	1.02907	
112	33.676	3.6871	2.9963	0.943257	Y	3.6871	2.9963	
113	31.9922	1.4192	0.822361	1	Y	1.4192	0.822361	
114	30.3926	3.69676	3.01342	0.930445	Y	3.69676	3.01342	
115	28.8729	2.75986	1.38112	1	Y	2.75986	1.38112	
116	27.4293	3.19688	2.09881	0.974174	Y	3.19688	2.09881	
117	26.0578	1.99145	0.711837	1	Y	1.99145	0.711837	
118	24.7549	2.27145	0.847913	0.994518	Y	2.27145	0.847913	
119	23.5172	3.18224	2.07249	0.949261	Y	3.18224	2.07249	
120	22.3413	2.07383	0.73831	1	Y	2.07383	0.73831	
121	21.2243	2.65574	1.23901	0.976685	Y	2.65574	1.23901	
122	20.1631	3.45586	2.57466	0.935904	Y	3.45586	2.57466	
123	19.1549	2.02263	0.720527	1	Y	2.02263	0.720527	
124	18.1972	3.34952	2.37781	0.912951	Y	3.34952	2.37781	
125	17.2873	3.29273	2.27321	1	Y	3.29273	2.27321	

Скриншот 7 - Результат работы алгоритма (часть 7).

176	1.26366	1.32617	0.882692	1	Y	1.32617	0.882692	
177	1.20048	3.05685	1.85202	0.445994	Y	3.05685	1.85202	
178	1.14045	2.70571	1.3055	1	Y	2.70571	1.3055	
179	1.08343	3.08234	1.89603	0.579811	-	2.70571	1.3055	
180	1.02926	1.33118	0.879198	1	Y	1.33118	0.879198	
181	0.977798	1.17303	1.00149	0.882435	Y	1.17303	1.00149	
182	0.928908	1.39785	0.835328	1	Y	1.39785	0.835328	
183	0.882462	1.05011	1.11105	0.731653	Y	1.05011	1.11105	
184	0.838339	3.65301	2.93541	0.113476	-	1.05011	1.11105	
185	0.796422	2.98458	1.72985	0.459795	-	1.05011	1.11105	
186	0.756601	3.99579	3.50729	0.0421253	-	1.05011	1.11105	
187	0.718771	2.9261	1.63423	0.482935	-	1.05011	1.11105	
188	0.682833	1.90066	0.695683	1	Y	1.90066	0.695683	
189	0.648691	2.13839	0.766975	0.895922	Y	2.13839	0.766975	
190	0.616256	1.16004	1.01254	0.671344	Y	1.16004	1.01254	
191	0.585444	1.55833	0.751767	1	Y	1.55833	0.751767	
192	0.556171	1.41937	0.822259	0.880957	Y	1.41937	0.822259	
193	0.528363	2.07822	0.740039	1	Y	2.07822	0.740039	
194	0.501945	3.31154	2.30778	0.04401	-	2.07822	0.740039	
195	0.476847	2.9989	1.75373	0.119335	-	2.07822	0.740039	
196	0.453005	1.91446	0.697266	1	Y	1.91446	0.697266	
197	0.430355	2.72101	1.3265	0.231742	-	1.91446	0.697266	
198	0.408837	1.35322	0.864144	0.66486	-	1.91446	0.697266	
199	0.388395	2.12998	0.762844	0.84464	Y	2.12998	0.762844	
200	0.368975	3.78885	3.17374	0.00145315	-	2.12998	0.762844	

Скриншот 8 - Результат работы алгоритма (часть 8).

201	0.350527	1.78003	0.69492	1	Y		1.78003	0.69492	
202	0.333	3.7009	3.02075	0.000926162	-		1.78003	0.69492	
203	0.31635	1.67575	0.712616	0.9456	Y		1.67575	0.712616	
204	0.300533	3.2198	2.14018	0.00865063	-		1.67575	0.712616	
205	0.285506	2.36013	0.917977	0.487098	-		1.67575	0.712616	
206	0.271231	2.85505	1.52243	0.0505041	-		1.67575	0.712616	
207	0.257669	1.12083	1.04669	0.273484	Y		1.12083	1.04669	
208	0.244786	3.94917	3.43602	5.76621e-05	-		1.12083	1.04669	
209	0.232547	2.08419	0.742442	1	Y		2.08419	0.742442	
210	0.220919	1.92162	0.69821	1	Y		1.92162	0.69821	
211	0.209873	2.05855	0.732547	0.849074	Y		2.05855	0.732547	
212	0.19938	2.38747	0.942115	0.349554	Y		2.38747	0.942115	
213	0.189411	2.26588	0.843944	1	Y		2.26588	0.843944	
214	0.17994	1.89176	0.694827	1	Y		1.89176	0.694827	
215	0.170943	1.3193	0.887525	0.323919	-		1.89176	0.694827	
216	0.162396	1.08561	1.07833	0.0942781	Y		1.08561	1.07833	
217	0.154276	3.27102	2.23343	0.000560167	-		1.08561	1.07833	
218	0.146562	1.59328	0.738067	1	Y		1.59328	0.738067	
219	0.139234	3.1805	2.06936	7.03837e-05	-		1.59328	0.738067	
220	0.132272	2.11602	0.756254	0.871537	Y		2.11602	0.756254	
221	0.125659	2.45969	1.01152	0.131153	-		2.11602	0.756254	
222	0.119376	3.23424	2.16639	7.41111e-06	-		2.11602	0.756254	
223	0.113407	3.98576	3.49217	3.33247e-11	-		2.11602	0.756254	
224	0.107737	1.8523	0.692578	1	Y		1.8523	0.692578	
225	0.10235	2.90024	1.59296	0.000151176	-		1.8523	0.692578	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+									

Скриншот 9 - Результат работы алгоритма (часть 9).

Результат  $x=1.852$ ,  $f(x)=0.693$

Для мультимодальной функции:

Результат:  $x_{\min} = 3.511$ ,  $y_{\min} = -2.576$

N	T	x	f(x)	P	accept	x best	f(x) best
1	10000	3.9817	3.03923	0.999837	Y	3.9817	3.03923
2	9500	3.67028	-1.41738	1	Y	3.67028	-1.41738
3	9025	3.08412	0.538271	0.999783	Y	3.08412	0.538271
4	8573.75	1.2179	-0.185636	1	Y	1.2179	-0.185636
5	8145.06	2.55513	0.231707	0.999949	Y	2.55513	0.231707
6	7737.81	2.16384	-0.768081	1	Y	2.16384	-0.768081
7	7350.92	3.13928	0.0230917	0.999892	Y	3.13928	0.0230917
8	6983.37	1.59567	0.731502	0.999899	Y	1.59567	0.731502
9	6634.2	2.53527	0.119947	1	Y	2.53527	0.119947
10	6302.49	2.77718	1.36191	0.999803	Y	2.77718	1.36191
11	5987.37	3.05932	0.742273	1	Y	3.05932	0.742273
12	5688	2.41003	-0.475296	1	Y	2.41003	-0.475296
13	5403.6	1.16133	-0.463945	0.999998	Y	1.16133	-0.463945
14	5133.42	2.56612	0.294651	0.999852	Y	2.56612	0.294651
15	4876.75	3.3962	-2.35574	1	Y	3.3962	-2.35574
16	4632.91	1.75492	0.422302	0.999401	Y	1.75492	0.422302
17	4401.27	1.17822	-0.381014	1	Y	1.17822	-0.381014
18	4181.2	2.52379	0.0567403	0.999895	Y	2.52379	0.0567403
19	3972.14	2.47728	-0.184304	1	Y	2.47728	-0.184304
20	3773.54	2.91981	1.45394	0.999566	Y	2.91981	1.45394
21	3584.86	1.8936	-0.0300177	1	Y	1.8936	-0.0300177
22	3405.62	2.52849	0.0824458	0.999967	Y	2.52849	0.0824458
23	3235.34	2.67265	0.901934	0.999747	Y	2.67265	0.901934
24	3073.57	1.10512	-0.728892	1	Y	1.10512	-0.728892
25	2919.89	3.8797	1.73512	0.999156	Y	3.8797	1.73512

Скриншот 10 - Результат работы алгоритма (часть 10).

	26		2773.9		3.84324		1.17065		1		Y		3.84324		1.17065	
	27		2635.2		3.27723		-1.40836		1		Y		3.27723		-1.40836	
	28		2503.44		3.03439		0.926205		0.999068		Y		3.03439		0.926205	
	29		2378.27		1.46265		0.683864		1		Y		1.46265		0.683864	
	30		2259.36		2.21701		-0.808013		1		Y		2.21701		-0.808013	
	31		2146.39		3.84817		1.24851		0.999042		Y		3.84817		1.24851	
	32		2039.07		2.30858		-0.747774		1		Y		2.30858		-0.747774	
	33		1937.11		2.55437		0.227419		0.999497		Y		2.55437		0.227419	
	34		1840.26		2.60636		0.528044		0.999837		Y		2.60636		0.528044	
	35		1748.25		1.64289		0.675198		0.999916		Y		1.64289		0.675198	
	36		1660.83		3.97964		3.01875		0.99859		Y		3.97964		3.01875	
	37		1577.79		3.23347		-0.959951		1		Y		3.23347		-0.959951	
	38		1498.9		2.25556		-0.803609		0.999896		Y		2.25556		-0.803609	
	39		1423.96		1.17246		-0.409384		0.999723		Y		1.17246		-0.409384	
	40		1352.76		1.93014		-0.156679		0.999813		Y		1.93014		-0.156679	
	41		1285.12		1.12329		-0.645929		1		Y		1.12329		-0.645929	
	42		1220.87		3.83963		1.11331		0.99856		Y		3.83963		1.11331	
	43		1159.82		1.33949		0.351572		1		Y		1.33949		0.351572	
	44		1101.83		3.62569		-1.90553		1		Y		3.62569		-1.90553	
	45		1046.74		1.70661		0.549108		0.997658		Y		1.70661		0.549108	
	46		994.403		2.38387		-0.56595		1		Y		2.38387		-0.56595	
	47		944.682		3.19093		-0.509947		0.999941		Y		3.19093		-0.509947	
	48		897.448		2.1516		-0.751958		1		Y		2.1516		-0.751958	
	49		852.576		3.59342		-2.18381		1		Y		3.59342		-2.18381	
	50		809.947		2.2055		-0.803722		0.998298		Y		2.2055		-0.803722	
	51		769.45		2.93407		1.41844		0.997116		Y		2.93407		1.41844	
	52		730.977		1.65145		0.661414		1		Y		1.65145		0.661414	
	53		694.428		3.42627		-2.49252		1		Y		3.42627		-2.49252	
	54		659.707		2.15454		-0.75605		0.997371		Y		2.15454		-0.75605	
	55		626.722		3.3283		-1.87967		1		Y		3.3283		-1.87967	

Скриншот 11 - Результат работы алгоритма (часть 11).

	26		2773.9		3.84324		1.17065		1		Y		3.84324		1.17065	
	27		2635.2		3.27723		-1.40836		1		Y		3.27723		-1.40836	
	28		2503.44		3.03439		0.926205		0.999068		Y		3.03439		0.926205	
	29		2378.27		1.46265		0.683864		1		Y		1.46265		0.683864	
	30		2259.36		2.21701		-0.808013		1		Y		2.21701		-0.808013	
	31		2146.39		3.84817		1.24851		0.999042		Y		3.84817		1.24851	
	32		2039.07		2.30858		-0.747774		1		Y		2.30858		-0.747774	
	33		1937.11		2.55437		0.227419		0.999497		Y		2.55437		0.227419	
	34		1840.26		2.60636		0.528044		0.999837		Y		2.60636		0.528044	
	35		1748.25		1.64289		0.675198		0.999916		Y		1.64289		0.675198	
	36		1660.83		3.97964		3.01875		0.99859		Y		3.97964		3.01875	
	37		1577.79		3.23347		-0.959951		1		Y		3.23347		-0.959951	
	38		1498.9		2.25556		-0.803609		0.999896		Y		2.25556		-0.803609	
	39		1423.96		1.17246		-0.409384		0.999723		Y		1.17246		-0.409384	
	40		1352.76		1.93014		-0.156679		0.999813		Y		1.93014		-0.156679	
	41		1285.12		1.12329		-0.645929		1		Y		1.12329		-0.645929	
	42		1220.87		3.83963		1.11331		0.99856		Y		3.83963		1.11331	
	43		1159.82		1.33949		0.351572		1		Y		1.33949		0.351572	
	44		1101.83		3.62569		-1.90553		1		Y		3.62569		-1.90553	
	45		1046.74		1.70661		0.549108		0.997658		Y		1.70661		0.549108	
	46		994.403		2.38387		-0.56595		1		Y		2.38387		-0.56595	
	47		944.682		3.19093		-0.509947		0.999941		Y		3.19093		-0.509947	
	48		897.448		2.1516		-0.751958		1		Y		2.1516		-0.751958	
	49		852.576		3.59342		-2.18381		1		Y		3.59342		-2.18381	
	50		809.947		2.2055		-0.803722		0.998298		Y		2.2055		-0.803722	

Скриншот 12 - Результат работы алгоритма (часть 12).



51	769.45	2.93407	1.41844	0.997116	Y	2.93407	1.41844	
52	730.977	1.65145	0.661414	1	Y	1.65145	0.661414	
53	694.428	3.42627	-2.49252	1	Y	3.42627	-2.49252	
54	659.707	2.15454	-0.75605	0.997371	Y	2.15454	-0.75605	
55	626.722	3.3283	-1.87967	1	Y	3.3283	-1.87967	
56	595.386	3.72975	-0.612608	0.997874	Y	3.72975	-0.612608	
57	565.616	1.97294	-0.301281	0.99945	Y	1.97294	-0.301281	
58	537.335	1.39695	0.539484	0.998437	Y	1.39695	0.539484	
59	510.469	2.5947	0.460269	1	Y	2.5947	0.460269	
60	484.945	1.98627	-0.344746	1	Y	1.98627	-0.344746	
61	460.698	3.78112	0.177054	0.998868	Y	3.78112	0.177054	
62	437.663	2.5421	0.158064	1	Y	2.5421	0.158064	
63	415.78	1.66321	0.64078	0.99884	Y	1.66321	0.64078	
64	394.991	1.55161	0.751124	0.999721	Y	1.55161	0.751124	
65	375.241	3.0144	1.05707	0.999185	Y	3.0144	1.05707	
66	356.479	1.59133	0.734898	1	Y	1.59133	0.734898	
67	338.655	2.94532	1.3843	0.998084	Y	2.94532	1.3843	
68	321.723	1.81842	0.226213	1	Y	1.81842	0.226213	
69	305.636	3.28334	-1.46834	1	Y	3.28334	-1.46834	
70	290.355	2.33175	-0.704649	0.997373	Y	2.33175	-0.704649	
71	275.837	3.90477	2.10141	0.989879	Y	3.90477	2.10141	
72	262.045	3.37971	-2.25984	1	Y	3.37971	-2.25984	
73	248.943	2.10882	-0.677529	0.993664	Y	2.10882	-0.677529	
74	236.496	2.52032	0.0378786	0.99698	Y	2.52032	0.0378786	
75	224.671	3.17671	-0.360352	1	Y	3.17671	-0.360352	

Скриншот 13 - Результат работы алгоритма (часть 13).

76	213.437	2.65093	0.783097	0.994657	Y	2.65093	0.783097	
77	202.765	1.52734	0.747314	1	Y	1.52734	0.747314	
78	192.627	2.92305	1.44665	0.996376	Y	2.92305	1.44665	
79	182.996	3.36455	-2.15974	1	Y	3.36455	-2.15974	
80	173.846	2.38521	-0.561643	0.99085	Y	2.38521	-0.561643	
81	165.154	2.44016	-0.354604	0.998747	Y	2.44016	-0.354604	
82	156.896	3.20554	-0.664616	1	Y	3.20554	-0.664616	
83	149.051	2.63551	0.696105	0.990912	Y	2.63551	0.696105	
84	141.599	2.43765	-0.365293	1	Y	2.43765	-0.365293	
85	134.519	1.33499	0.334677	0.99481	Y	1.33499	0.334677	
86	127.793	2.48792	-0.13161	1	Y	2.48792	-0.13161	
87	121.403	1.09311	-0.781721	1	Y	1.09311	-0.781721	
88	115.333	1.69209	0.58235	0.988242	Y	1.69209	0.58235	
89	109.566	3.45819	-2.57878	1	Y	3.45819	-2.57878	
90	104.088	2.37389	-0.59692	0.98114	Y	2.37389	-0.59692	
91	98.8836	3.33091	-1.90156	1	Y	3.33091	-1.90156	
92	93.9395	2.46071	-0.263084	0.982709	Y	2.46071	-0.263084	
93	89.2425	2.4808	-0.16704	0.998924	Y	2.4808	-0.16704	
94	84.7804	1.38364	0.50081	0.992154	Y	1.38364	0.50081	
95	80.5413	1.62299	0.703126	0.997491	Y	1.62299	0.703126	
96	76.5143	3.71439	-0.834403	1	Y	3.71439	-0.834403	
97	72.6886	2.09385	-0.645438	0.997404	Y	2.09385	-0.645438	
98	69.0541	1.35591	0.410671	0.984822	Y	1.35591	0.410671	
99	65.6014	2.3485	-0.66631	1	Y	2.3485	-0.66631	
100	62.3214	3.7624	-0.117486	0.991232	Y	3.7624	-0.117486	

Скриншот 14 - Результат работы алгоритма (часть 14).

101	59.2053	1.8109	0.250746	0.9938	Y	1.8109	0.250746	
102	56.245	3.89943	2.02537	0.968941	Y	3.89943	2.02537	
103	53.4328	2.99366	1.17619	1	Y	2.99366	1.17619	
104	50.7611	3.38693	-2.30355	1	Y	3.38693	-2.30355	
105	48.2231	2.95046	1.36691	0.92671	Y	2.95046	1.36691	
106	45.8119	1.09617	-0.768401	1	Y	1.09617	-0.768401	
107	43.5213	2.95395	1.35445	0.952393	Y	2.95395	1.35445	
108	41.3453	3.84879	1.25831	1	Y	3.84879	1.25831	
109	39.278	1.00996	-1.08419	1	Y	1.00996	-1.08419	
110	37.3141	1.59259	0.733942	0.952443	Y	1.59259	0.733942	
111	35.4484	2.06576	-0.577743	1	Y	2.06576	-0.577743	
112	33.676	1.40241	0.554466	0.966938	Y	1.40241	0.554466	
113	31.9922	1.3415	0.359028	1	Y	1.3415	0.359028	
114	30.3926	1.93999	-0.19049	1	Y	1.93999	-0.19049	
115	28.8729	2.58408	0.398523	0.979807	Y	2.58408	0.398523	
116	27.4293	1.892	-0.0244661	1	Y	1.892	-0.0244661	
117	26.0578	3.86027	1.43783	0.945428	Y	3.86027	1.43783	
118	24.7549	1.70148	0.561144	1	Y	1.70148	0.561144	
119	23.5172	1.291	0.155222	1	Y	1.291	0.155222	
120	22.3413	2.59667	0.471731	0.985933	Y	2.59667	0.471731	
121	21.2243	2.19271	-0.796068	1	Y	2.19271	-0.796068	
122	20.1631	3.06212	0.720201	0.927558	Y	3.06212	0.720201	
123	19.1549	1.96412	-0.272048	1	Y	1.96412	-0.272048	
124	18.1972	3.0235	0.999443	0.932512	Y	3.0235	0.999443	
125	17.2873	3.57101	-2.33665	1	Y	3.57101	-2.33665	

Скриншот 15 - Результат работы алгоритма (часть 15).

126	16.4229	1.99821	-0.382826	0.887835	Y	1.99821	-0.382826	
127	15.6018	3.4626	-2.58561	1	Y	3.4626	-2.58561	
128	14.8217	2.7639	1.31752	0.768481	-	3.4626	-2.58561	
129	14.0806	3.09929	0.404282	0.808689	Y	3.09929	0.404282	
130	13.3766	3.18328	-0.42928	1	Y	3.18328	-0.42928	
131	12.7078	3.86041	1.44016	0.863199	Y	3.86041	1.44016	
132	12.0724	3.471	-2.59511	1	Y	3.471	-2.59511	
133	11.4687	2.16055	-0.763991	0.852432	Y	2.16055	-0.763991	
134	10.8953	3.35535	-2.09387	1	Y	3.35535	-2.09387	
135	10.3505	3.41958	-2.46657	1	Y	3.41958	-2.46657	
136	9.83302	2.56705	0.300015	0.754759	-	3.41958	-2.46657	
137	9.34136	2.65179	0.787855	0.705825	Y	2.65179	0.787855	
138	8.8743	2.41107	-0.471409	1	Y	2.41107	-0.471409	
139	8.43058	3.0449	0.851365	0.854788	Y	3.0449	0.851365	
140	8.00905	2.6984	1.03514	0.977315	Y	2.6984	1.03514	
141	7.6086	1.67297	0.622238	1	Y	1.67297	0.622238	
142	7.22817	1.04749	-0.963514	1	Y	1.04749	-0.963514	
143	6.86676	3.75457	-0.238741	0.899831	Y	3.75457	-0.238741	
144	6.52342	1.38114	0.493202	0.893863	Y	1.38114	0.493202	
145	6.19725	1.57393	0.745352	0.960129	Y	1.57393	0.745352	
146	5.88739	3.82859	0.937325	0.967918	Y	3.82859	0.937325	
147	5.59302	1.77122	0.374673	1	Y	1.77122	0.374673	
148	5.31337	2.65956	0.830898	0.917719	Y	2.65956	0.830898	
149	5.0477	3.64442	-1.71426	1	Y	3.64442	-1.71426	
150	4.79532	1.41863	0.59586	0.617705	Y	1.41863	0.59586	

Скриншот 16 - Результат работы алгоритма (часть 16).

151	4.55555	3.37327	-2.21866	1	Y		3.37327	-2.21866	
152	4.32777	3.73636	-0.514815	0.674556	Y		3.73636	-0.514815	
153	4.11138	2.35557	-0.648345	1	Y		2.35557	-0.648345	
154	3.90581	3.45357	-2.57027	1	Y		3.45357	-2.57027	
155	3.71052	3.61516	-2.00366	0.858383	-		3.45357	-2.57027	
156	3.525	1.88541	-0.00156115	0.48253	-		3.45357	-2.57027	
157	3.34875	1.66754	0.632708	0.384247	Y		1.66754	0.632708	
158	3.18131	1.10726	-0.719287	1	Y		1.10726	-0.719287	
159	3.02224	3.32826	-1.87927	1	Y		3.32826	-1.87927	
160	2.87113	2.03209	-0.485526	0.615431	-		3.32826	-1.87927	
161	2.72758	3.24563	-1.08707	0.747935	Y		3.24563	-1.08707	
162	2.5912	3.27764	-1.41242	1	Y		3.27764	-1.41242	
163	2.46164	1.7327	0.483522	0.462922	-		3.27764	-1.41242	
164	2.33856	1.74698	0.444706	0.451972	Y		1.74698	0.444706	
165	2.22163	3.72063	-0.745298	1	Y		3.72063	-0.745298	
166	2.11055	3.14785	-0.0629369	0.723749	Y		3.14785	-0.0629369	
167	2.00502	3.9608	2.81845	0.237619	Y		3.9608	2.81845	
168	1.90477	3.26494	-1.28529	1	Y		3.26494	-1.28529	
169	1.80953	1.40092	0.550438	0.362592	-		3.26494	-1.28529	
170	1.71905	2.54618	0.180992	0.426152	Y		2.54618	0.180992	
171	1.6331	1.32807	0.308156	0.925088	Y		1.32807	0.308156	
172	1.55145	3.56734	-2.35843	1	Y		3.56734	-2.35843	
173	1.47387	2.57969	0.373062	0.156723	-		3.56734	-2.35843	
174	1.40018	2.35084	-0.660505	0.297408	-		3.56734	-2.35843	
175	1.33017	1.68925	0.588572	0.109098	-		3.56734	-2.35843	

Скриншот 17 - Результат работы алгоритма (часть 17).

176	1.26366	2.17716	-0.782788	0.287398	-	3.56734	-2.35843	
177	1.20048	3.80521	0.562133	0.0877876	-	3.56734	-2.35843	
178	1.14045	1.19991	-0.27398	0.160777	-	3.56734	-2.35843	
179	1.08343	2.49325	-0.104576	0.124893	-	3.56734	-2.35843	
180	1.02926	2.80311	1.4334	0.0251214	Y	2.80311	1.4334	
181	0.977798	2.91971	1.45416	0.978985	Y	2.91971	1.45416	
182	0.928908	3.74505	-0.384062	1	Y	3.74505	-0.384062	
183	0.882462	2.87187	1.51037	0.116862	Y	2.87187	1.51037	
184	0.838339	2.34498	-0.674876	1	Y	2.34498	-0.674876	
185	0.796422	3.16448	-0.233056	0.574213	Y	3.16448	-0.233056	
186	0.756601	2.02396	-0.461693	1	Y	2.02396	-0.461693	
187	0.718771	1.47132	0.696928	0.199499	Y	1.47132	0.696928	
188	0.682833	2.08732	-0.630521	1	Y	2.08732	-0.630521	
189	0.648691	2.89678	1.49301	0.0378711	-	2.08732	-0.630521	
190	0.616256	2.38079	-0.575749	0.914956	Y	2.38079	-0.575749	
191	0.585444	3.97291	2.94987	0.0024245	-	2.38079	-0.575749	
192	0.556171	1.95054	-0.226372	0.533561	Y	1.95054	-0.226372	
193	0.528363	2.49944	-0.0728005	0.747773	Y	2.49944	-0.0728005	
194	0.501945	3.97598	2.9817	0.00227599	-	2.49944	-0.0728005	
195	0.476847	1.64892	0.665599	0.212566	-	2.49944	-0.0728005	
196	0.453005	1.78366	0.336954	0.404734	Y	1.78366	0.336954	
197	0.430355	3.02822	0.968237	0.230641	Y	3.02822	0.968237	
198	0.408837	3.68611	-1.21829	1	Y	3.68611	-1.21829	
199	0.388395	3.99441	3.15882	1.27531e-05	-	3.68611	-1.21829	
200	0.368975	2.51557	0.0122982	0.0356091	-	3.68611	-1.21829	

Скриншот 18 - Результат работы алгоритма (часть 18).

201	0.350527	2.96821	1.2981	0.000762522	-	3.68611	-1.21829	
202	0.333	1.31145	0.241703	0.0124708	-	3.68611	-1.21829	
203	0.31635	1.71893	0.519024	0.00412064	-	3.68611	-1.21829	
204	0.300533	1.96593	-0.278065	0.043782	-	3.68611	-1.21829	
205	0.285506	2.72096	1.14285	0.000256081	-	3.68611	-1.21829	
206	0.271231	2.31982	-0.728291	0.164215	Y	2.31982	-0.728291	
207	0.257669	3.43817	-2.53209	1	Y	3.43817	-2.53209	
208	0.244786	1.38181	0.495247	4.25549e-06	-	3.43817	-2.53209	
209	0.232547	2.98604	1.2155	1.00264e-07	-	3.43817	-2.53209	
210	0.220919	2.67894	0.935341	1.52594e-07	-	3.43817	-2.53209	
211	0.209873	2.28342	-0.781647	0.000238655	-	3.43817	-2.53209	
212	0.19938	2.56883	0.310243	6.43786e-07	-	3.43817	-2.53209	
213	0.189411	1.2975	0.183275	5.94301e-07	-	3.43817	-2.53209	
214	0.17994	1.9001	-0.0526248	1.03676e-06	-	3.43817	-2.53209	
215	0.170943	1.77272	0.370196	4.23161e-08	-	3.43817	-2.53209	
216	0.162396	3.32315	-1.83568	0.0137277	-	3.43817	-2.53209	
217	0.154276	3.85192	1.30756	1.55315e-11	-	3.43817	-2.53209	
218	0.146562	3.01158	1.07432	2.05809e-11	-	3.43817	-2.53209	
219	0.139234	2.24095	-0.808755	4.21332e-06	-	3.43817	-2.53209	
220	0.132272	1.53863	0.750415	1.66894e-11	-	3.43817	-2.53209	
221	0.125659	1.02825	-1.02912	6.39023e-06	-	3.43817	-2.53209	
222	0.119376	2.96973	1.29156	1.22858e-14	-	3.43817	-2.53209	
223	0.113407	3.88555	1.82251	2.10857e-17	-	3.43817	-2.53209	
224	0.107737	3.51062	-2.57578	1	Y	3.51062	-2.57578	
225	0.10235	2.65021	0.779068	5.8159e-15	-	3.51062	-2.57578	
+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+								

Скриншот 19 - Результат работы алгоритма (часть 19).

Результат  $x=3.511$   $f(x)=-2.576$

## Вывод

Алгоритм имитации отжига подходит для поиска глобального экстремума как у унимодальных, так и у мультимодальных функций.

## Исходный код программы

# Copyright 2021 DimaZzZz101 zabotin.d@list.ru

"""

Лабораторная работа №3

Исследование алгоритма имитации отжига

Цель работы: Изучение метода имитации отжига для поиска экстремума на примере унимодальной и

мультимодальной функции одного переменного.

Вариант 7

"""

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import pandas as pd
from tabulate import tabulate
```

```
a_ = 1
b_ = 4
```

```
T_MAX_ = 10000
T_MIN_ = 0.1
```

```
coefficient_ = 0.95
```

```
def unimodal_func(x):
    return -np.sqrt(x) * np.sin(x) + 2
```

```
def multimodal_func(x):
    return unimodal_func(x) * np.sin(5 * x)
```

```
x_array_ = np.linspace(a_, b_, 100)
```

```
y1 = [unimodal_func(i) for i in x_array_]
y2 = [multimodal_func(i) for i in x_array_]
```

```
def show_graphic(name, x=None, y=None):
    fig = plt.figure(figsize=(7, 7))
```



```

plt.plot(x, y)

plt.title(name, fontsize=15) # заголовок.
plt.xlabel("x", fontsize=14) # ось абсцисс.
plt.ylabel("y", fontsize=14) # ось ординат.

plt.grid(True) # включение отображение сетки.
plt.show()

save = "Graphics/" + name + ".png"
fig.savefig(save)

```

```

# Функция формирования таблицы.
def create_table(t_max_array, x_array, y_array, p_array, accept_array,
x_best_array, y_best_array):
    pd.set_option('display.max_rows', None)
    table = pd.DataFrame({
        'N': [i for i in range(1, len(x_array) + 1)],
        'T': t_max_array,
        'x': x_array,
        'f(x)': y_array,
        'P': p_array,
        'accept': accept_array,
        'x best': x_best_array,
        'f(x) best': y_best_array
    })

    table.set_index('N', inplace=True)

    print(tabulate(table, headers='keys', tablefmt='psql'), end='\n\n')

```

```

# Метод имитации отжига
def annealing(a, b, t_max, t_min, coeff, function):
    # Массивы для хранения данных для будущей таблицы.
    t_max_array = []
    x_array = []
    y_array = []
    p_array = []
    accept_array = []
    x_best_array = []
    y_best_array = []

    # Первоначальный выбор случайной точки на заданном отрезке и

```

вычисление значения функции в ней.

```
x_min = np.random.uniform(a, b)
```

```
f_min = function(x_min)
```

```
while t_max > t_min:
```

```
    # Вычисляем текущие x и f(x).
```

```
    x_i = np.random.uniform(a, b)
```

```
    f_i = function(x_i)
```

```
    # Находим разность между текущим и предыдущим значением функций.
```

```
    delta = f_i - f_min
```

```
    # Если текущее значение функции меньше либо равно предыдущему,
```

то...

```
    if delta <= 0:
```

```
        # Вычисляем новые x и f(x).
```

```
        x_min = x_i
```

```
        f_min = function(x_min)
```

```
        # Переход осуществляется безусловно.
```

```
        accept_array.append('Y')
```

```
        p_array.append(1)
```

```
    else:
```

```
        # Если текущее значение больше предыдущего...
```

```
        # Вычисляется вероятность перехода
```

```
        p = np.exp(-delta / t_max) * 100
```

delta и уменьшением температуры.

```
        if p >= np.random.uniform(0, 100):
```

```
            x_min = x_i
```

```
            f_min = function(x_min)
```

```
            accept_array.append('Y')
```

```
        else:
```

```
            # В противном случае переход не осуществляется.
```

```
            accept_array.append('-')
```

```
            p_array.append(p / 100)
```

```
    # Запоминаем вычисленные на текущей итерации значения.
```

```
    t_max_array.append(t_max)
```

```
    x_array.append(x_i)
```

```
    y_array.append(f_i)
```

```
    x_best_array.append(x_min)
```

```
    y_best_array.append(function(x_min))
```

```
    # Понижаем температуру.
```

```
    t_max *= coeff
```

```
print(f"Результат: x_min = {x_min:.3f}, y_min = {f_min:.3f}")
create_table(t_max_array, x_array, y_array, p_array, accept_array, x_best_array,
y_best_array)
```

```
show_graphic("Унимодальная функция", x_array_, y1)
print("Для унимодальной функции:")
annealing(a_, b_, T_MAX_, T_MIN_, coefficient_, unimodal_func)
```

```
show_graphic("Мультимодальная функция", x_array_, y2)
print("Для мультимодальной функции:")
annealing(a_, b_, T_MAX_, T_MIN_, coefficient_, multimodal_func)
```