

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Статистические таблицы

Таблица П1.1

Значение нормальной функции распределения

$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-t^2/2} dt$$

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1	2	3	4	5	6
-4,00	0,0000	-1,91	0,0281	-1,62	0,0526
-3,90	0,0001	-1,90	0,0288	-1,61	0,0537
-3,80	0,0001	-1,89	0,0294	-1,60	0,0548
-3,70	0,0002	-1,88	0,0301	-1,59	0,0559
-3,60	0,0002	-1,87	0,0307	-1,58	0,0571
-3,50	0,0003	-1,86	0,0314	-1,57	0,0582
-3,50	0,0003	-1,85	0,0322	-1,56	0,0594
-3,30	0,0005	-1,84	0,0329	-1,55	0,0606
-3,20	0,0007	-1,83	0,0336	-1,54	0,0618
-3,10	0,0010	-1,82	0,0344	-1,53	0,0630
-3,00	0,0014	-1,81	0,0351	-1,52	0,0643
-2,90	0,0019	-1,80	0,0359	-1,51	0,0655
-2,80	0,0026	-1,79	0,0367	-1,50	0,0668
-2,70	0,0035	-1,78	0,0375	-1,49	0,0681
-2,60	0,0047	-1,77	0,0384	-1,48	0,0694
-2,50	0,0063	-1,76	0,0392	-1,47	0,0708
-2,40	0,0082	-1,75	0,0401	-1,46	0,0721
-2,30	0,0108	-1,74	0,0409	-1,45	0,0735
-2,20	0,0139	-1,73	0,0417	-1,44	0,0749
-2,10	0,0179	-1,72	0,0427	-1,43	0,0764
-2,00	0,0228	-1,71	0,0436	-1,42	0,0778
-1,99	0,0233	-1,70	0,0446	-1,41	0,0793
-1,98	0,0239	-1,69	0,0455	-1,40	0,0808
-1,97	0,0244	-1,68	0,0465	-1,39	0,0823
-1,96	0,0250	-1,67	0,0475	-1,38	0,0838
-1,95	0,0256	-1,66	0,0485	-1,37	0,0853
-1,94	0,0262	-1,65	0,0495	-1,36	0,0869
-1,93	0,0268	-1,64	0,0505	-1,35	0,0915
-1,92	0,0274	-1,63	0,0516	-1,34	0,0901
-1,33	0,0918	-0,89	0,1867	-0,45	0,3264
-1,32	0,0934	-0,88	0,1894	-0,44	0,3300
-1,31	0,0951	-0,87	0,1922	-0,43	0,3336
-1,30	0,0968	-0,86	0,1949	-0,42	0,3372
-1,29	0,0985	-0,85	0,1977	-0,41	0,3409
-1,28	0,1003	-0,84	0,2005	-0,40	0,3446
-1,27	0,1020	-0,83	0,2033	-0,39	0,3483
-1,26	0,1038	-0,82	0,2061	-0,38	0,3520

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3	4	5	6
-1,25	0,1056	-0,81	0,2090	-0,37	0,3557
-1,24	0,1075	-0,80	0,2119	-0,36	0,3594
-1,23	0,1093	-0,79	0,2148	-0,35	0,3632
-1,22	0,1112	-0,78	0,2177	-0,34	0,3669
-1,21	0,1131	-0,77	0,2206	-0,33	0,3707
-1,20	0,1151	-0,76	0,2236	-0,32	0,3745
-1,19	0,1170	-0,75	0,2266	-0,31	0,3783
-1,18	0,1190	-0,74	0,2296	-0,30	0,3821
-1,17	0,1210	-0,73	0,2327	-0,29	0,3859
-1,16	0,1230	-0,72	0,2358	-0,28	0,3897
-1,15	0,1251	-0,71	0,2389	-0,27	0,3936
-1,14	0,1271	-0,70	0,2420	-0,26	0,3974
-1,13	0,1292	-0,69	0,2451	-0,25	0,4013
-1,12	0,1314	-0,68	0,2483	-0,24	0,4052
-1,11	0,1335	-0,67	0,2514	-0,23	0,4090
-1,10	0,1357	-0,66	0,2546	-0,22	0,4129
-1,09	0,1379	-0,65	0,2578	-0,21	0,4168
-1,08	0,1401	-0,64	0,2671	-0,20	0,4207
-1,07	0,1423	-0,63	0,2643	-0,19	0,4247
-1,06	0,1446	-0,62	0,2676	-0,18	0,4286
-1,05	0,1469	-0,61	0,2709	-0,17	0,4325
-1,04	0,1492	-0,60	0,2743	-0,16	0,4364
-1,03	0,1515	-0,59	0,2776	-0,15	0,4404
-1,02	0,1539	-0,58	0,2810	-0,14	0,4443
-1,01	0,1562	-0,57	0,2843	-0,13	0,4483
-1,00	0,1587	-0,56	0,2877	-0,12	0,4522
-0,99	0,1611	-0,55	0,2912	-0,11	0,4562
-0,98	0,1635	-0,54	0,2946	-0,10	0,4602
-0,97	0,1660	-0,53	0,2981	-0,09	0,4641
-0,96	0,1685	-0,52	0,3015	-0,08	0,4681
-0,95	0,1711	-0,51	0,3050	-0,07	0,4721
-0,94	0,1736	-0,50	0,3085	-0,06	0,4761
-0,93	0,1762	-0,49	0,3121	-0,05	0,4801
-0,92	0,1788	-0,48	0,3156	-0,04	0,4840
-0,91	0,1814	-0,47	0,3192	-0,03	0,4880
-0,90	0,1841	-0,46	0,3228	-0,02	0,4920
-0,01	0,4960	0,43	0,6664	0,87	0,8078
0,00	0,5000	0,44	0,6700	0,88	0,8106
0,01	0,5040	0,45	0,6736	0,89	0,8133
0,02	0,5080	0,46	0,6772	0,90	0,8159
0,03	0,5120	0,47	0,6808	0,91	0,8186
0,04	0,5160	0,48	0,6844	0,92	0,8212
0,05	0,5199	0,49	0,6879	0,93	0,8232
0,06	0,5239	0,50	0,6915	0,94	0,8264
0,07	0,5279	0,51	0,6950	0,95	0,8289
0,08	0,5319	0,52	0,6925	0,96	0,8315
0,09	0,5359	0,53	0,7019	0,97	0,8340

1	2	3	4	5	6
0,10	0,5398	0,54	0,7054	0,98	0,8365
0,11	0,5438	0,55	0,7088	0,99	0,8389
0,12	0,5478	0,56	0,7123	1,00	0,8413
0,13	0,5517	0,57	0,7157	1,01	0,8438
0,14	0,5557	0,58	0,7190	1,02	0,8461
0,15	0,5596	0,59	0,7224	1,03	0,8485
0,16	0,5636	0,60	0,7257	1,04	0,8508
0,17	0,5675	0,61	0,7291	1,05	0,8531
0,18	0,5714	0,62	0,7324	1,06	0,8554
0,19	0,5753	0,63	0,7357	1,07	0,8577
0,20	0,5793	0,64	0,7389	1,08	0,8599
0,21	0,5832	0,65	0,7422	1,09	0,8621
0,22	0,5871	0,66	0,7454	1,10	0,8643
0,23	0,5910	0,67	0,7486	1,11	0,8665
0,24	0,5948	0,68	0,7517	1,12	0,8686
0,25	0,5987	0,69	0,7549	1,13	0,8708
0,26	0,6026	0,70	0,7580	1,14	0,8729
0,27	0,6064	0,71	0,7611	1,15	0,8749
0,28	0,6103	0,72	0,7642	1,16	0,8770
0,29	0,6141	0,73	0,7673	1,17	0,8790
0,30	0,6179	0,74	0,7704	1,18	0,8810
0,31	0,6217	0,75	0,7734	1,19	0,8830
0,32	0,6255	0,76	0,7764	1,20	0,8849
0,33	0,6293	0,77	0,7794	1,21	0,8869
0,34	0,6331	0,78	0,7823	1,22	0,8888
0,35	0,6368	0,79	0,7852	1,23	0,8907
0,36	0,6406	0,80	0,7881	1,24	0,8925
0,37	0,6443	0,81	0,7910	1,25	0,8944
0,38	0,6480	0,82	0,7939	1,26	0,8962
0,39	0,6517	0,83	0,7967	1,27	0,8990
0,40	0,6554	0,84	0,7995	1,28	0,8997
0,41	0,6591	0,85	0,8023	1,29	0,9015
0,42	0,6628	0,86	0,8051	1,30	0,9032
1,31	0,9049	1,61	0,9463	1,91	0,9719
1,32	0,9066	1,62	0,9474	1,92	0,9726
1,33	0,9082	1,63	0,9484	1,93	0,9732
1,34	0,9099	1,64	0,9495	1,94	0,9738
1,35	0,9115	1,65	0,9505	1,95	0,9744
1,36	0,9131	1,66	0,9515	1,96	0,9750
1,37	0,9147	1,67	0,9525	1,97	0,9756
1,38	0,9162	1,68	0,9535	1,98	0,9761
1,39	0,9177	1,69	0,9545	1,99	0,9767
1,40	0,9192	1,70	0,9554	2,00	0,9772
1,41	0,9207	1,71	0,9564	2,10	0,9821
1,42	0,9222	1,72	0,9573	2,20	0,9861
1,43	0,9236	1,73	0,9583	2,30	0,9892
1,44	0,9251	1,74	0,9591	2,40	0,9918

Продолжение таблицы П1.1

1	2	3	4	5	6
1,45	0,9265	1,75	0,9599	2,50	0,9937
1,46	0,9279	1,76	0,9608	2,60	0,9953
1,47	0,9292	1,77	0,9616	2,70	0,9965
1,48	0,9306	1,78	0,9525	2,80	0,9974
1,49	0,9319	1,79	0,9633	2,90	0,9981
1,50	0,9332	1,80	0,9641	3,00	0,9986
1,51	0,9345	1,81	0,9649	3,10	0,9990
1,52	0,9357	1,82	0,9656	3,20	0,9993
1,53	0,9370	1,83	0,9664	3,30	0,9995
1,54	0,9382	1,84	0,9671	3,40	0,9996
1,55	0,9394	1,85	0,9678	3,50	0,9997
1,56	0,9406	1,86	0,9686	3,60	0,9998
1,57	0,9418	1,87	0,9693	3,70	0,9998
1,58	0,9429	1,88	0,9699	3,80	0,9999
1,59	0,9441	1,89	0,9706	3,90	0,9999
1,60	0,9452	1,90	0,9713	4,00	1,0000

Значения $\Phi(x)$ подсчитаны по формуле [37]

$$\Phi(x) = 1 - f(x) \sum_{i=1}^5 a_i w^i; \quad x \geq 0,$$

где $w = \frac{1}{1+px}; \quad f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-x^2/2};$

$$\begin{aligned} p &= 0,2316419; & a_2 &= -0,3565638; & a_4 &= -1,821256; \\ a_1 &= 0,3193815; & a_3 &= 1,781478; & a_5 &= 1,330274. \end{aligned}$$

Если $x < 0$, то $\Phi(-x) = 1 - \Phi(x)$.

Таблица П1.2

Преобразование (критерий) Фишера для коэффициента корреляции,
 $F = \text{arth}(r)$

r	F	r	F	r	F
1	2	3	4	5	6
0,00	0,000	0,34	0,354	0,68	0,8290
0,01	0,010	0,35	0,365	0,69	0,8480
0,02	0,020	0,36	0,376	0,70	0,8670
0,03	0,030	0,37	0,388	0,71	0,8870
0,04	0,040	0,38	0,400	0,72	0,9070
0,05	0,050	0,39	0,411	0,73	0,9280
0,06	0,060	0,40	0,423	0,74	0,9500
0,07	0,070	0,41	0,435	0,75	0,9730
0,08	0,080	0,42	0,459	0,76	0,9960
0,09	0,100	0,43	0,459	0,77	1,2030
0,10	0,100	0,44	0,472	0,78	1,4540

Продолжение таблицы П1.2

0,11	0,110	0,45	0,484	0,79	1,7140
0,12	0,120	0,46	0,490	0,80	1,9860
0,13	0,130	0,47	0,510	0,81	1,1270
0,14	0,140	0,48	0,523	0,82	1,1881
0,15	0,151	0,49	0,536	0,83	1,1881
0,16	0,161	0,50	0,549	0,84	1,2212
0,17	0,171	0,51	0,562	0,85	1,2562
0,18	0,182	0,52	0,576	0,86	1,2933
0,19	0,192	0,53	0,590	0,87	1,3331
0,20	0,202	0,54	0,604	0,88	1,3758
0,21	0,213	0,55	0,618	0,89	1,4219
0,22	0,223	0,56	0,632	0,90	1,4722
0,23	0,234	0,57	0,647	0,91	1,5275
0,24	0,244	0,58	0,662	0,92	1,5890
0,25	0,255	0,59	0,667	0,93	1,6584
0,26	0,266	0,60	0,693	0,94	1,7380
0,27	0,276	0,61	0,708	0,95	1,8318
0,28	0,287	0,62	0,725	0,96	1,9433
0,29	0,298	0,63	0,741	0,97	2,0923
0,30	0,309	0,64	0,758	0,98	2,2976
0,31	0,320	0,65	0,775	0,99	2,6467
0,32	0,331	0,66	0,792		
0,33	0,342	0,67	0,810		

Свойство преобразования $\text{arth}(-r) = -F$.

Таблица П1.3

Значения функции χ^2 в зависимости от вероятности P и числа степеней свободы f [38]

f	Вероятность P					
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50
1	0,000	0,0004	0,016	0,064	0,148	0,455
2	0,020	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,37
4	0,297	0,711	1,064	1,649	2,20	3,36
5	0,554	1,145	1,610	2,34	3,00	4,35
6	0,872	1,635	2,20	3,07	3,83	5,35
7	1,239	2,17	2,83	3,82	4,67	6,35
8	1,646	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34
9	2,09	3,32	4,17	5,38	6,37	8,34
10	2,56	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34
11	3,05	4,58	5,58	6,99	8,15	10,34
12	3,57	5,23	6,30	7,81	9,03	11,34
13	4,11	5,89	7,04	8,63	9,93	12,34
14	4,66	6,57	7,79	9,47	10,82	13,34
15	5,23	7,26	8,55	10,31	11,72	14,34

Продолжение таблицы П1.3

f	Вероятность P					
	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01
1	1,074	1,642	2,71	3,84	5,41	6,64
2	2,41	3,22	4,60	5,99	7,82	9,21
3	3,66	4,64	6,25	7,82	9,84	11,34
4	4,88	5,99	7,78	9,49	11,67	13,28
5	6,06	7,29	9,24	11,07	13,39	15,09
6	7,23	8,56	10,64	12,59	15,03	16,81
7	8,38	9,80	12,02	14,07	16,62	18,48
8	9,52	11,03	13,36	15,51	18,17	20,1
9	10,66	12,24	14,68	16,92	19,68	21,7
10	11,78	13,44	15,90	18,31	21,2	23,2
11	12,90	14,63	17,28	19,68	22,6	24,7
12	14,01	15,81	18,55	21,0	24,1	26,2
13	15,12	16,98	19,81	22,4	25,5	27,7
14	16,22	18,15	21,1	23,7	26,9	29,1
15	17,32	19,31	22,3	25,0	28,3	30,6

Таблица П1.4

Равномерно распределенные случайные числа

03	86	20	27	67	32	16	37	43	08	47	07	84	06	29
92	37	77	33	70	84	72	31	16	33	47	25	83	28	48
15	87	29	77	98	49	89	83	02	14	14	50	02	59	01
77	65	77	71	56	21	68	59	96	64	24	68	30	09	77
50	88	51	57	95	68	34	01	71	99	77	75	20	14	91
78	59	86	69	29	09	63	28	88	16	27	54	96	17	16
27	18	58	50	29	16	61	74	75	08	08	06	11	80	81
38	61	44	74	49	34	82	82	14	09	07	06	19	67	23
57	25	37	84	31	31	66	69	90	32	48	30	77	74	55
72	41	54	60	88	67	11	47	40	11	05	55	67	08	92
84	68	93	28	70	73	60	66	16	23	95	36	13	99	31
05	10	87	55	70	10	67	02	31	90	54	33	44	90	35
35	49	07	85	76	18	92	49	13	89	40	21	81	59	11
62	93	54	33	45	23	18	69	63	69	54	10	75	15	23
88	71	44	98	15	04	18	01	38	39	36	08	45	50	16
68	82	57	25	37	58	57	61	26	70	56	88	36	36	62
78	46	21	70	84	75	90	19	78	27	30	70	46	96	19
01	22	90	32	86	76	97	27	40	84	02	25	05	51	42
00	15	71	31	40	55	26	15	29	08	71	33	79	66	57
90	02	26	88	68	03	16	16	41	42	14	00	53	76	57
57	23	86	06	49	08	37	66	21	60	52	42	04	99	16
05	06	10	80	95	12	21	76	98	50	03	59	80	92	51
66	77	72	89	99	73	78	02	37	32	07	78	26	86	92

Продолжение таблицы П1.5

$f_2 = N$	$f_1 = n - 1$						
	7	8	9	15	35	143	∞
2	0,8159	0,8010	0,7880	0,7341	0,6602	0,5813	0,5000
3	0,6333	0,6167	0,6025	0,5466	0,4748	0,4031	0,3333
4	0,5175	0,5017	0,4884	0,4366	0,3720	0,3093	0,2500
5	0,4387	0,4241	0,4118	0,3645	0,3066	0,2513	0,2000
6	0,3817	0,3682	0,3568	0,3135	0,2612	0,2119	0,1667
7	0,3384	0,3259	0,3154	0,2756	0,2278	0,1833	0,1429
8	0,3043	0,2926	0,2829	0,2462	0,2022	0,1616	0,1250
9	0,2768	0,2659	0,2568	0,2226	0,1820	0,1446	0,1111
10	0,2541	0,2439	0,2353	0,2032	0,1655	0,1308	0,1000
12	0,2187	0,2098	0,2020	0,1737	0,1403	0,1100	0,0833
15	0,1815	0,1736	0,1621	0,1429	0,1144	0,0889	0,0667
20	0,1422	0,1357	0,1303	0,1108	0,0879	0,0675	0,0500
24	0,1216	0,1160	0,1113	0,0942	0,0743	0,0567	0,0417
30	0,1002	0,0958	0,0921	0,0771	0,0604	0,0457	0,0333
40	0,0780	0,0745	0,0713	0,0595	0,0462	0,0347	0,0250
60	0,0552	0,0520	0,0497	0,0411	0,0316	0,0234	0,0167
120	0,0292	0,0279	0,0266	0,0218	0,0165	0,0120	0,0083
∞	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

Таблица П1.6

Значения критерия Стьюдента [38]

Степень свободы, f	Доверительная вероятность γ				
	0,2	0,5	0,8	0,9	0,95
1	2	3	4	5	6
1	0,3249	1,0000	3,0777	6,3138	12,7062
2	0,2887	0,8165	1,8856	2,9200	4,3027
3	0,2767	0,7649	1,6377	2,3534	3,1824
4	0,2707	0,7407	1,5332	2,1318	2,7764
5	0,2672	0,7267	1,4759	2,0150	2,5706
6	0,2648	0,7176	1,4398	1,9432	2,4469
7	0,2632	0,7111	1,4149	1,8946	2,3646
8	0,2619	0,7064	1,3968	1,8595	2,3060
9	0,2610	0,7027	1,3830	1,8331	2,2622
10	0,2602	0,6998	1,3722	1,8125	2,2281
11	0,2596	0,6974	1,3634	1,7959	2,2010
12	0,2590	0,6955	1,3562	1,7823	2,1788

1	2	3	4	5	6
13	0,2586	0,6938	1,3502	1,7709	2,1604
14	0,2582	0,6924	1,3450	1,7613	2,1448
15	0,2579	0,6912	1,3406	1,7530	2,1314
16	0,2576	0,6901	1,3368	1,7459	2,1199
17	0,2573	0,6892	1,3334	1,7396	2,1098
18	0,2571	0,6884	1,3304	1,7341	2,1009
19	0,2569	0,6876	1,3277	1,7291	2,0930
20	0,2567	0,6870	1,3253	1,7247	2,0860
21	0,2566	0,6864	1,3232	1,7207	2,0796
22	0,2564	0,6858	1,3212	1,7171	2,0739
23	0,2563	0,6853	1,3195	1,7139	2,0687
24	0,2562	0,6848	1,3178	1,7101	2,0639
25	0,2561	0,6844	1,3163	1,7081	2,0595
26	0,2560	0,6840	1,3150	1,7053	2,0555
27	0,2559	0,6837	1,3137	1,7033	2,0518
28	0,2558	0,6834	1,3125	1,7011	2,0484
29	0,2557	0,6830	1,3114	1,6991	2,0452
30	0,2556	0,6828	1,3104	1,6973	2,0423
32	0,2555	0,6822	1,3086	1,6939	2,0369
34	0,2553	0,6818	1,3070	1,6909	2,0322
36	0,2552	0,6814	1,3055	1,6883	2,0281
38	0,2551	0,6810	1,3042	1,6860	2,0244
40	0,2550	0,6807	1,3031	1,6839	2,0211
42	0,2550	0,6804	1,3020	1,6820	2,0181
44	0,2549	0,6801	1,3011	1,6802	2,0154
46	0,2548	0,6799	1,3002	1,6787	2,0129
48	0,2548	0,6796	1,2994	1,6772	2,0106
50	0,2547	0,6794	1,2987	1,6759	2,0086
55	0,2546	0,6790	1,2971	1,6730	2,0040
60	0,2545	0,6786	1,2958	1,6706	2,0003
65	0,2544	0,6783	1,2947	1,6686	1,9971
70	0,2543	0,6780	1,2938	1,6669	1,9944
80	0,2542	0,6776	1,2922	1,6641	1,9901
90	0,2541	0,6772	1,2910	1,6620	1,9867
100	0,2540	0,6770	1,2901	1,6602	1,9840
120	0,2539	0,6765	1,2886	1,6577	1,9799
150	0,2538	0,6761	1,2872	1,6551	1,9759
200	0,2537	0,6757	1,2858	1,6525	1,9719
250	0,2536	0,6755	1,2849	1,6510	1,9695
300	0,2536	0,6753	1,2844	1,6499	1,9679
400	0,2535	0,6751	1,2837	1,6487	1,9659
500	0,2535	0,6750	1,2832	1,7479	1,9647

Значения критерия Фишера при доверительной вероятности $\gamma = 0,95$ [38]

$f_2 = N(n-1)$	$f_1 = N - d$					
	1	2	3	4	5	6
1	161,45	199,5	215,71	224,58	213,16	233,99
2	18,513	19,00	19,164	19,247	19,296	19,330
3	10,128	9,5521	9,2766	9,1172	9,0135	8,9406
4	7,7086	6,9443	6,5914	6,3883	6,2560	6,1631
5	6,6079	5,7861	5,4095	5,1922	5,0503	4,9503
6	5,9874	5,1433	4,7571	4,5337	4,3874	4,2839
7	5,5914	4,7374	4,3468	4,1203	3,9715	3,8660
8	5,3177	4,4590	4,0662	3,8378	3,6875	3,5806
9	5,1174	4,2565	3,8626	3,6371	3,4817	3,3738
10	4,9446	4,1028	3,7083	3,4780	3,2538	3,2172
11	4,8443	3,9823	3,5874	3,3567	3,2039	3,0946
12	4,7472	3,8853	3,4903	3,2567	3,1059	2,9961
13	4,6672	3,8056	3,4105	3,1791	3,0254	2,9153
14	4,6001	3,7389	3,3439	3,1122	2,9582	2,8477
15	4,5431	3,6823	3,2874	3,0556	2,9013	2,7905
16	4,4940	3,6337	3,2389	3,0069	2,8524	2,7413
17	4,4513	3,5915	3,1968	2,9647	2,8100	2,6987
18	4,4139	3,5546	3,1599	2,9277	2,7279	2,6613
19	4,3808	3,5219	3,1274	2,8951	2,7401	2,6283
20	4,3513	3,4928	3,0984	2,8661	2,7109	2,5990
21	4,3248	3,4668	3,0725	2,8401	2,6848	2,5727
22	4,3009	3,4434	3,0491	2,8167	2,6613	2,5491
23	4,2793	3,4221	3,0280	2,7955	2,6400	2,5277
24	4,2597	3,4028	3,0088	2,7763	2,6207	2,5082
25	4,2417	3,3852	2,9912	2,7587	2,6030	2,4904
26	4,2252	3,3690	2,9751	2,7426	2,5868	2,4741
27	4,2100	3,3541	2,9604	2,7278	2,5719	2,4591
28	4,1960	3,3404	2,0467	2,7141	2,5581	2,4453
29	4,1830	3,3277	2,9340	2,7014	2,5454	2,4324
30	4,1709	3,3158	2,9223	2,6886	2,5336	2,4205
40	4,0848	3,2317	2,8387	2,6060	2,4495	2,3359
60	4,0012	3,1504	2,7581	2,5252	2,3683	2,2540
120	3,9201	3,0718	2,6802	2,4472	2,2900	2,1750
∞	3,8415	2,9957	2,6049	2,3719	2,2141	2,0986

$f_2 = N(n-1)$	$f_1 = N-d$					
	7	8	9	10	13	15
1	236,77	238,88	240,54	241,88	243,91	245,95
2	19,355	19,371	19,385	19,396	19,413	19,429
3	8,8868	8,8452	8,8123	8,7855	8,7446	8,7029
4	6,0942	6,0410	5,9988	5,9644	5,9117	5,8578
5	4,8759	4,8183	4,7725	4,7351	4,6777	4,6188
6	4,2066	4,1468	4,0990	4,0600	3,9999	3,9381
7	3,7870	3,7257	3,6767	3,6365	3,5747	3,5108
8	3,5005	3,4381	3,3881	3,3472	3,2840	3,2184
9	3,2927	3,2296	3,1789	3,1373	3,0729	3,0061
10	3,1355	3,0717	3,0204	2,9782	2,9130	2,8450
11	3,0123	2,9480	2,8962	2,8536	2,7876	2,7186
12	2,9134	2,8486	2,7964	2,7534	2,6866	2,6169
13	2,8321	2,7669	2,7144	2,6710	2,6037	2,5331
14	2,7642	2,6887	2,6458	2,6021	2,5234	2,4630
15	2,7066	2,6408	2,5876	2,5437	2,4753	2,4035
16	2,6572	2,5911	2,5377	2,4935	2,4247	2,3522
17	2,6143	2,5480	2,4943	2,4499	2,3807	2,3077
18	2,5767	2,5102	2,4563	2,4117	2,3421	2,2685
19	2,5435	2,4768	2,4227	2,3779	2,3080	2,2341
20	2,5140	2,4471	2,3928	2,3479	2,2776	2,2033
21	2,4876	2,4205	2,3661	2,3210	2,2504	2,1751
22	2,4638	2,3965	2,3419	2,2967	2,2582	2,1508
23	2,4422	2,3748	2,3201	2,2747	2,2036	2,1282
24	2,4226	2,3551	2,3002	2,2547	2,1834	2,1077
25	2,4047	2,3371	2,2821	2,2365	2,1649	2,0889
26	2,3883	2,3205	2,2655	2,2197	2,1479	2,0716
27	2,3732	2,3053	2,2501	2,2043	2,1323	2,0558
28	2,3593	2,2913	2,2360	2,1900	2,1179	2,0411
29	2,3463	2,2782	2,2229	2,1768	2,1045	2,0275
30	2,3343	2,2662	2,2107	2,1646	2,0921	2,0148
40	2,2490	2,1802	2,1240	2,0772	2,0035	1,9246
60	2,1665	2,0970	2,0401	1,9926	1,9174	1,8364
120	2,0867	2,0164	1,9588	1,9105	1,8337	1,7505
∞	2,0090	1,9374	1,8799	1,8307	1,7522	1,6664

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблица П2.1

Максимальные значения интенсивностей отказов элементов РЭУ (для учебных целей)

Наименование элемента (группа, вид, тип)	Интенсивность отказов $\times 10^{-6}$ 1/ч
1	2
Полупроводниковые (ПП) цифровые интегральные схемы (ИС) 1-й степени интеграции	0,40
ПП цифровые ИС 2-й степени интеграции	0,45
ПП цифровые ИС 3-й степени интеграции	0,50
ПП цифровые ИС 4-й степени интеграции	0,60
ПП аналоговые ИС 1-й степени интеграции	0,45
ПП аналоговые ИС 2-й степени интеграции	0,55
ПП аналоговые ИС 3-й степени интеграции	0,65
Транзисторы полевые малой мощности	0,30
Транзисторы полевые средней мощности	0,35
Транзисторы полевые большой мощности	0,45
Транзисторы кремниевые малой мощности	0,40
Транзисторы кремниевые средней мощности	0,45
Транзисторы кремниевые большой мощности	0,50
Транзисторы германиевые малой мощности	0,45
Транзисторы германиевые средней мощности	0,55
Транзисторы германиевые большой мощности	0,65
Транзисторы маломощные в ключевом режиме	0,40
Транзисторы большой и средней мощности в ключевом режиме	0,60
Диоды высокочастотные кремниевые	0,20
Диоды высокочастотные германиевые	0,30
Диоды импульсные в ключевом режиме	0,15
Диоды выпрямительные маломощные, $I_{\text{ср.выпр}} < 300$ мА	0,20
Диоды выпрямительные средней мощности, $I_{\text{ср.выпр}} = 0 \dots 10$ А	0,50
Диоды-столбы высоковольтные выпрямительные	0,80
Блоки (мосты) выпрямительные кремниевые $I_{\text{ср.выпр}} < 400$ мА	0,40
Блоки (мосты) выпрямительные германиевые $I_{\text{ср.выпр}} > 400$ мА	1,10
Стабилитроны маломощные, $P_{\text{max}} < 1$ Вт	0,9
Стабилитроны средней мощности $P_{\text{max}} < 5$ Вт	1,25
Варикапы	0,20
Светодиоды	0,70
Диоды туннельные и обращенные	0,27
Диоды инфракрасного излучения	0,80
Фотодиоды	0,70
Диоды сверхвысокочастотные	6,00
Оптроны	0,75

1	2
Тиристоры маломощные, $I_{cp} < 2$ А	2,20
Тиристоры маломощные, $I_{cp} = 2...10$ А	4,40
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{ном} < 0,5$ Вт, ток постоянный	0,05
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{ном} < 0,5$ Вт ток переменный	0,10
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{ном} = 1...2$ Вт, ток постоянный	0,08
Резисторы постоянные непроволочные, $P_{ном} = 1...2$ Вт, ток переменный	0,15
Резисторы постоянные проволочные, $P_{ном} < 10$ Вт	0,40
Резисторы постоянные проволочные, $P_{ном} < 50$ Вт	0,80
Резисторы переменные непроволочные	0,50
Резисторы переменные непроволочные, с выключателем	1,30
Резисторы переменные проволочные	1,20
Резисторы переменные проволочные ползункового типа	1,10
Терморезисторы	0,20
Вариаторы	0,40
Фоторезисторы	0,50
Конденсаторы слюдяные	0,03
Конденсаторы танталовые	0,02
Конденсаторы керамические	0,05
Конденсаторы бумажные	0,07
Конденсаторы металлобумажные	0,06
Конденсаторы пластиковые	0,07
Конденсаторы нейлоновые	0,01
Конденсаторы электролитические алюминиевые	0,55
Конденсаторы электролитические танталовые	0,25
Индикаторы стрелочные	4,00
Индикаторы цифровые на жидких кристаллах	3,25
Индикаторы цифровые наполненные (серии ИН)	3,50
Индикаторы цифровые вакуумные накаливаемые (серии ИВ)	0,80
Индикаторы цифровые вакуумные люминесцентные серии ИВ)	2,00
Индикаторы цифробуквенные на основе светодиодов одноразрядные	1,00
Индикаторы цифробуквенные на основе светодиодов многократные	3,00
Индикаторы люминесцентные сигнальные	3,30
Лампочки сигнальные, накаливания	8,00
Лампочки сигнальные, неоновые	10,00
Кинескопы черно-белого изображения	7,50
Кинескопы цветного изображения	9,50
Трубки осциллографические (ЭЛТ)	10,00

Продолжение таблицы П2.1

	2
Катушки индуктивности, $d_{\text{пров}} < 0,1$ мм	0,30
Катушки индуктивности, $d_{\text{пров}} > 0,1$ мм	0,20
Дроссели, $d_{\text{пров}} < 0,1$ мм	0,30
Дроссели, $d_{\text{пров}} > 0,1$ мм	0,20
Обмотки сетевых трансформаторов, $d_{\text{пров}} < 0,1$ мм	0,75
Обмотки сетевых трансформаторов, $d_{\text{пров}} > 0,1$ мм	0,50
Трансформаторы входные	0,90
Трансформаторы выходные	0,90
Трансформаторы импульсные	0,13
Трансформаторы высоковольтные	2,50
Реле электромагнитные общего применения	2,50**
Реле электромагнитные миниатюрные	0,60**
Герконы	0,30*
Соединители (разъемы) штепсельные	0,20***
Гнезда, клеммы	0,70*
Вилки двухполюсные	0,50
Зажимы	0,01*
Тумблеры, кнопки	0,40**
Переключатели галетные	0,40**
Переключатели малогабаритные	0,30**
Переключатели малогабаритные модульные (П2К) с независимой фиксацией	0,30**
Переключатели малогабаритные модульные (П2К) с зависимой фиксацией	0,37**
Микропереключатели типа МП	0,30*
Штекеры (гнезда) телевизионные	2,12
Лепесток контактный	0,20
Плата (колодка) контактная межблочного монтажа	0,40*
Провод монтажный	0,30****
Кабели (шнуры)	0,60****
Кабели (шнуры) питания	2,00****
Держатели предохранителей	0,20
Предохранители	5,00
Изоляторы	0,50
Шайбы, прокладки изолирующие	0,75
Соединения пайкой, ток постоянный	0,04
Соединения пайкой, ток пульсирующий	0,40
Соединения накруткой	0,02
Платы печатного монтажа	0,20
Линии задержки	0,75
Фильтры пьезокерамические	0,25
Резонаторы кварцевые	0,37
Магнитопроводы ленточные	0,10
Ферритовые элементы	0,01
Головки магнитные малогабаритные	7,50

1	2
Электродвигатели асинхронные, сельсины	12,30
Электродвигатели синхронные	0,51
Электродвигатели постоянного тока	13,40
Батареи однозарядные	43,00
Батареи заряжаемые	2,00
Аккумуляторы	10,30
Датчики электромеханические пассивные	15,00
Конструкции несущие легкоъемных субблоков	0,10
Конструкции несущие РЭА	3,00
Пружины	2,20
Соединения механической пайкой	0,06
Соединения винтами 3...5 мм	0,001

Примечание: Значения интенсивностей отказов элементов, помеченные символом, приведены соответственно:

- * — на один контакт при номинальном токе;
- ** — на одну контактную группу при номинальном токе;
- *** — на один штырек при номинальном токе;
- **** — на каждый метр длины при номинальной плотности тока в проводе (неполный метр длины должен считаться как один метр).

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Значения поправочных коэффициентов (составлено для учебных целей)

Таблица ПЗ.1

Значения поправочных коэффициентов α_3 , учитывающих влияние механических воздействий [6]

Условия эксплуатации	Значение α_3
Лабораторные	1,00
Стационарные	1,07
Полевые	1,07
Корабельные	1,37
Автомобильные	1,46
Железнодорожные	1,57
Самолетные	1,65

Таблица ПЗ.2

Значения поправочных коэффициентов α_4 , учитывающих влияние относительной влажности [6]

Относительная влажность	Значение α_4
60...70% при $t = 20...40\text{ }^{\circ}\text{C}$	1,00
90...98% при $t = 20...25\text{ }^{\circ}\text{C}$	2,0
90...98% при $t = 30...40\text{ }^{\circ}\text{C}$	2,5

Таблица ПЗ.3

Значения поправочных коэффициентов α_5 , учитывающих атмосферное давление (высоту над уровнем моря) [6]

Высота, км	Значение α_5	Высота, км	Значение α_5
0...1	1,00	5...6	1,16
1...2	1,05	6...8	1,20
2...3	1,10	8...10	1,25
3...5	1,14	10...15	1,30

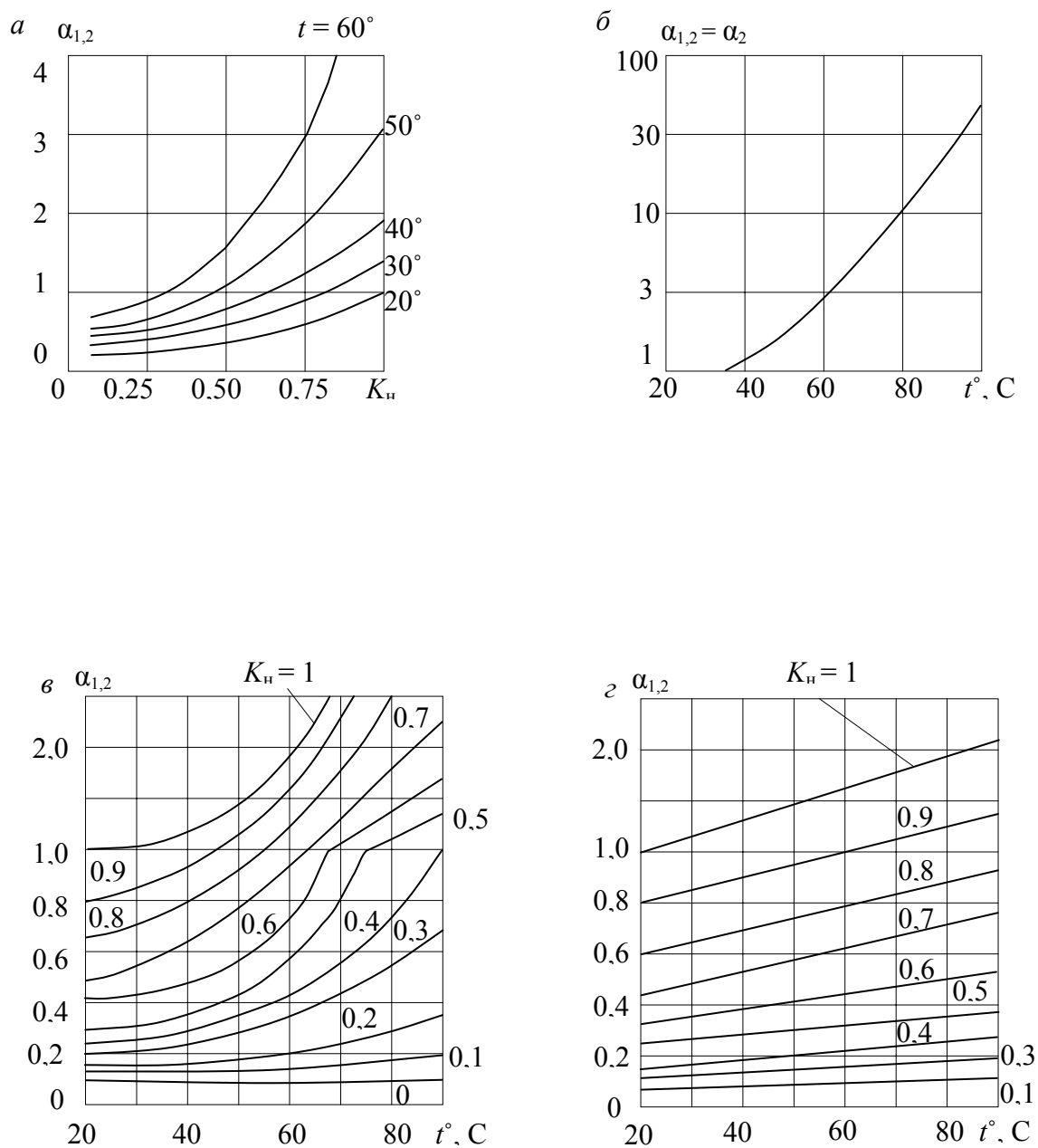


Рис.ПЗ.1. Обобщенные зависимости поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$ от температуры и коэффициента нагрузки:
а) для контактных элементов (разъемов, реле, переключателей и т.п.);
б) для соединений пайкой;
в) для резисторов типов МЛТ и ОМЛТ;
г) для переменных проволочных резисторов

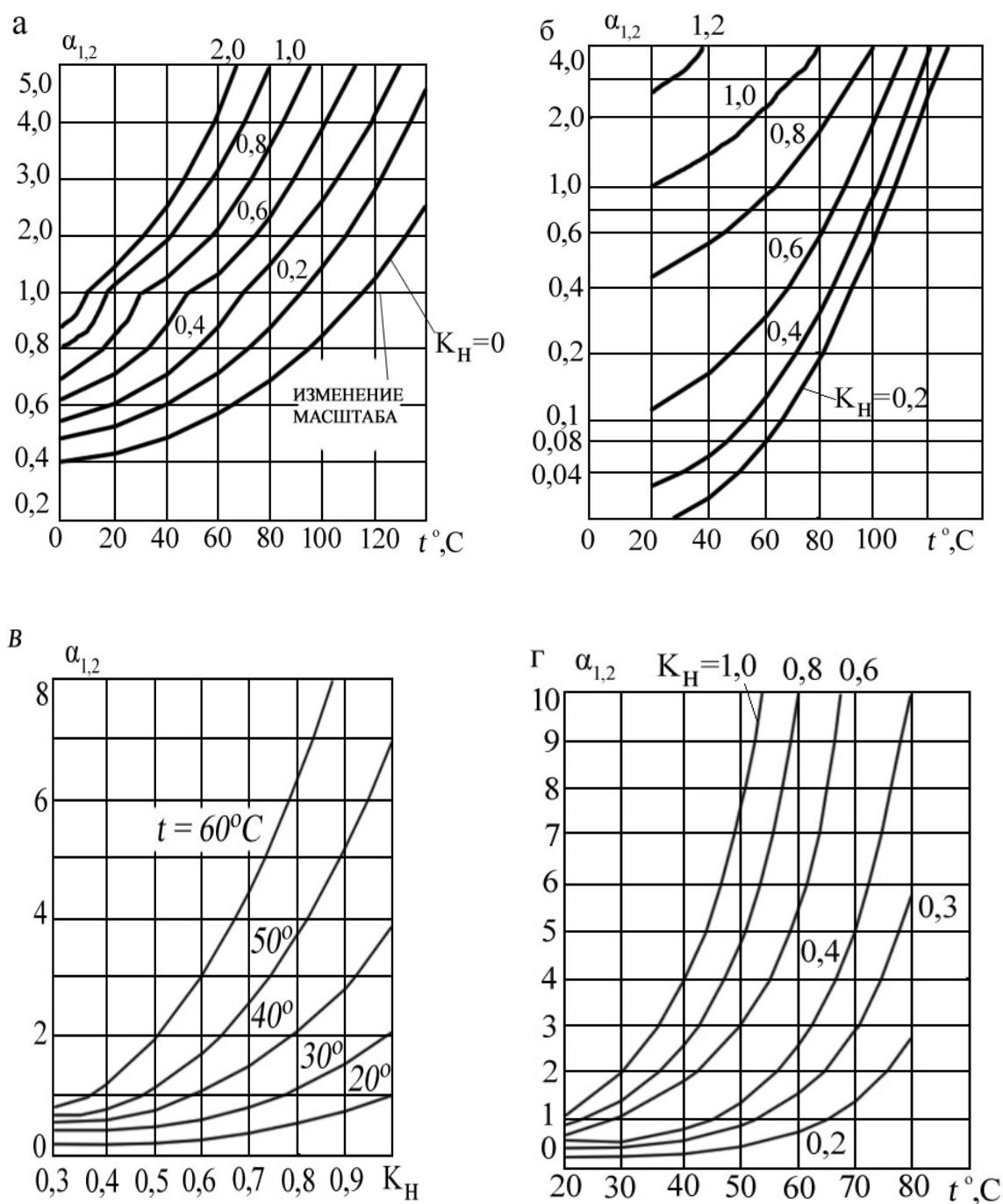


Рис.ПЗ.2. Обобщённые зависимости поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$ от температуры и коэффициента нагрузки:

- а** - для резисторов;
- б** - для неполярных конденсаторов;
- в** - для изделий, имеющих обмотки;
- г** - для электролитических конденсаторов

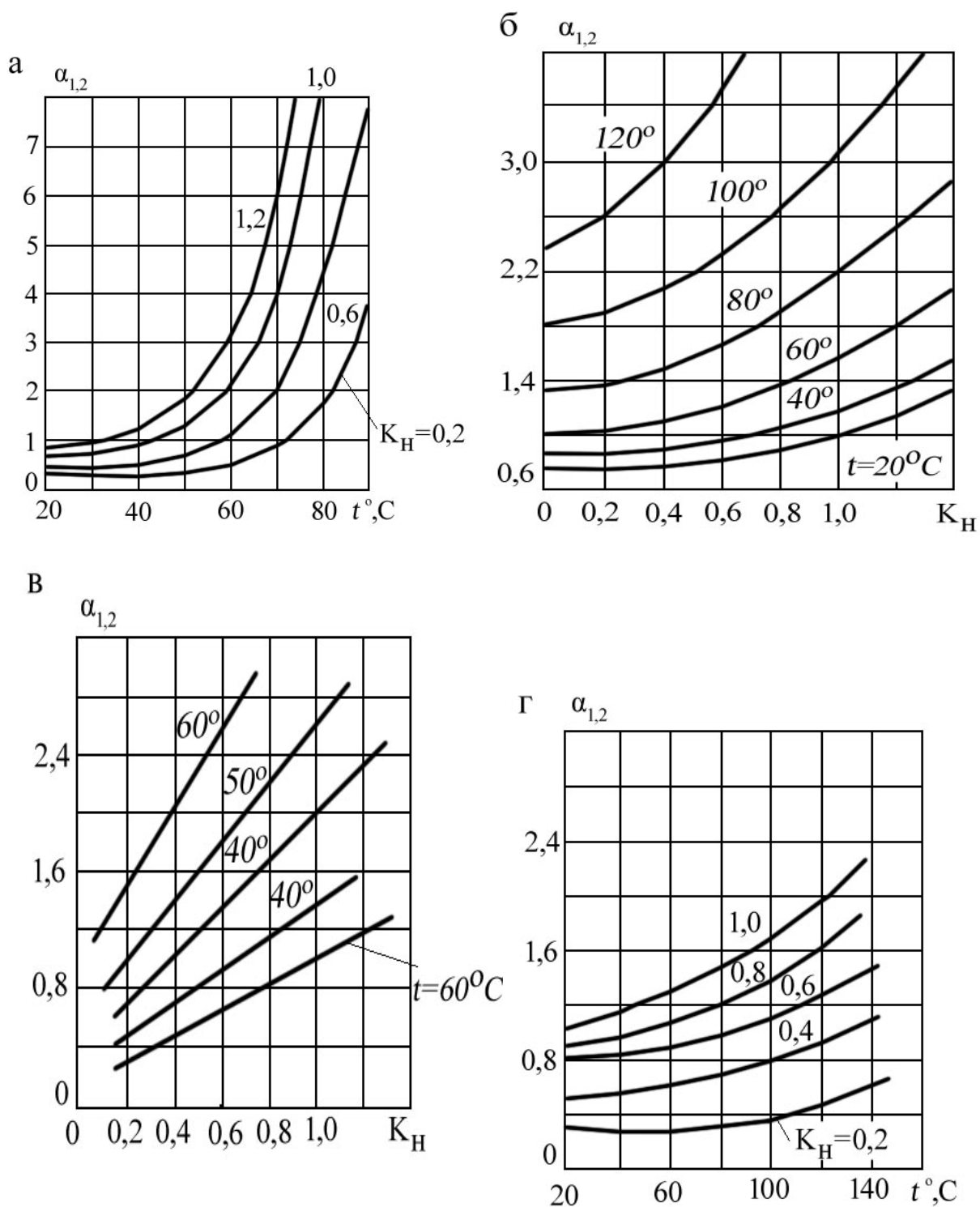


Рис.ПЗ.3. Обобщённые зависимости поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$ от температуры и коэффициента нагрузки для полупроводниковых приборов:

- а)** германиевых диодов;
- б)** кремниевых диодов;
- в)** германиевых транзисторов;
- г)** кремниевых транзисторов

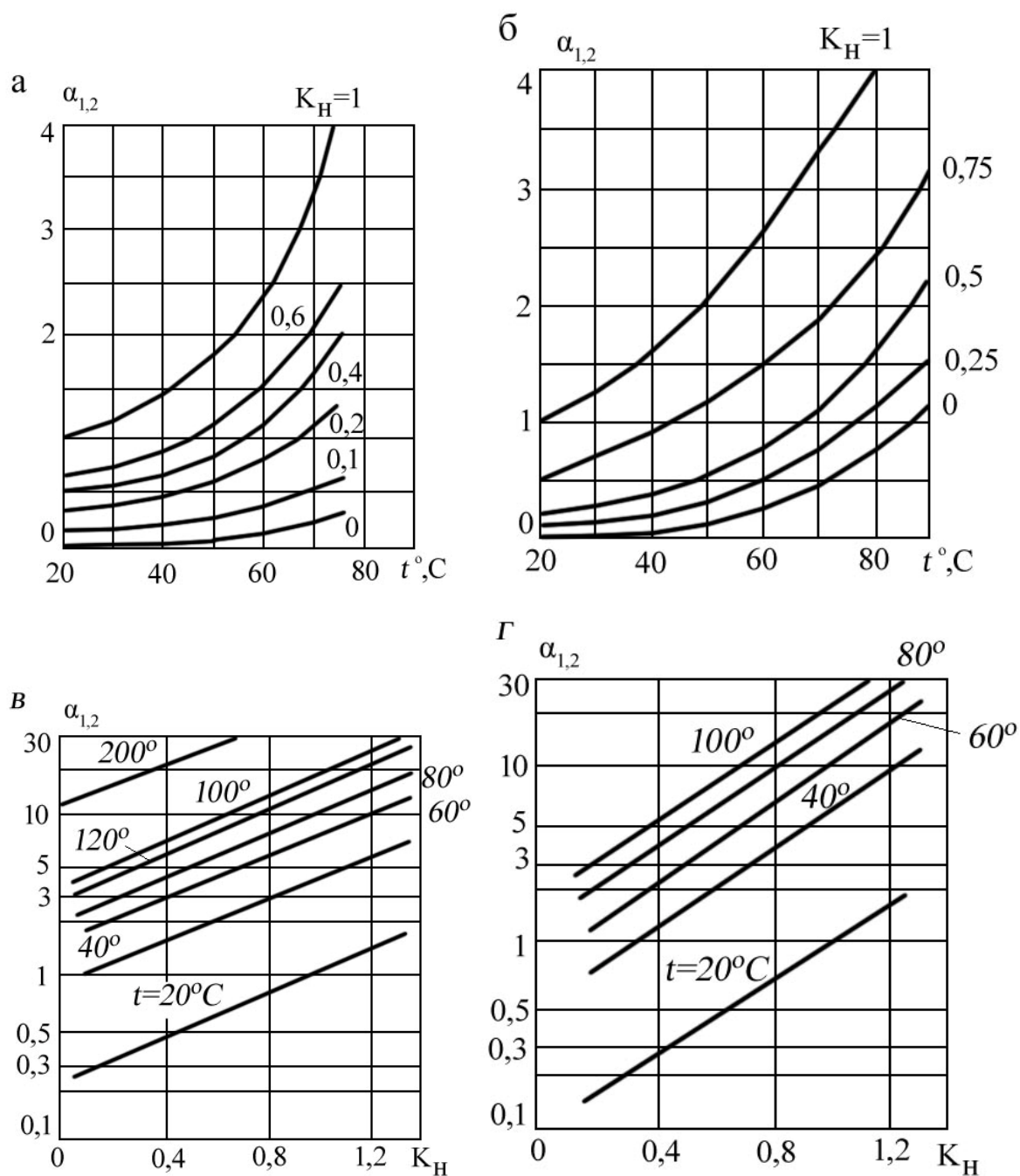


Рис.ПЗ.4. Обобщённые зависимости поправочного коэффициента $\alpha_{1,2}$ от температуры и коэффициента нагрузки:

- а)** для кремниевых высокочастотных транзисторов;
- б)** для германиевых высокочастотных транзисторов;
- в)** для полупроводниковых цифровых интегральных микросхем;
- г)** для полупроводниковых линейно-импульсных интегральных микросхем

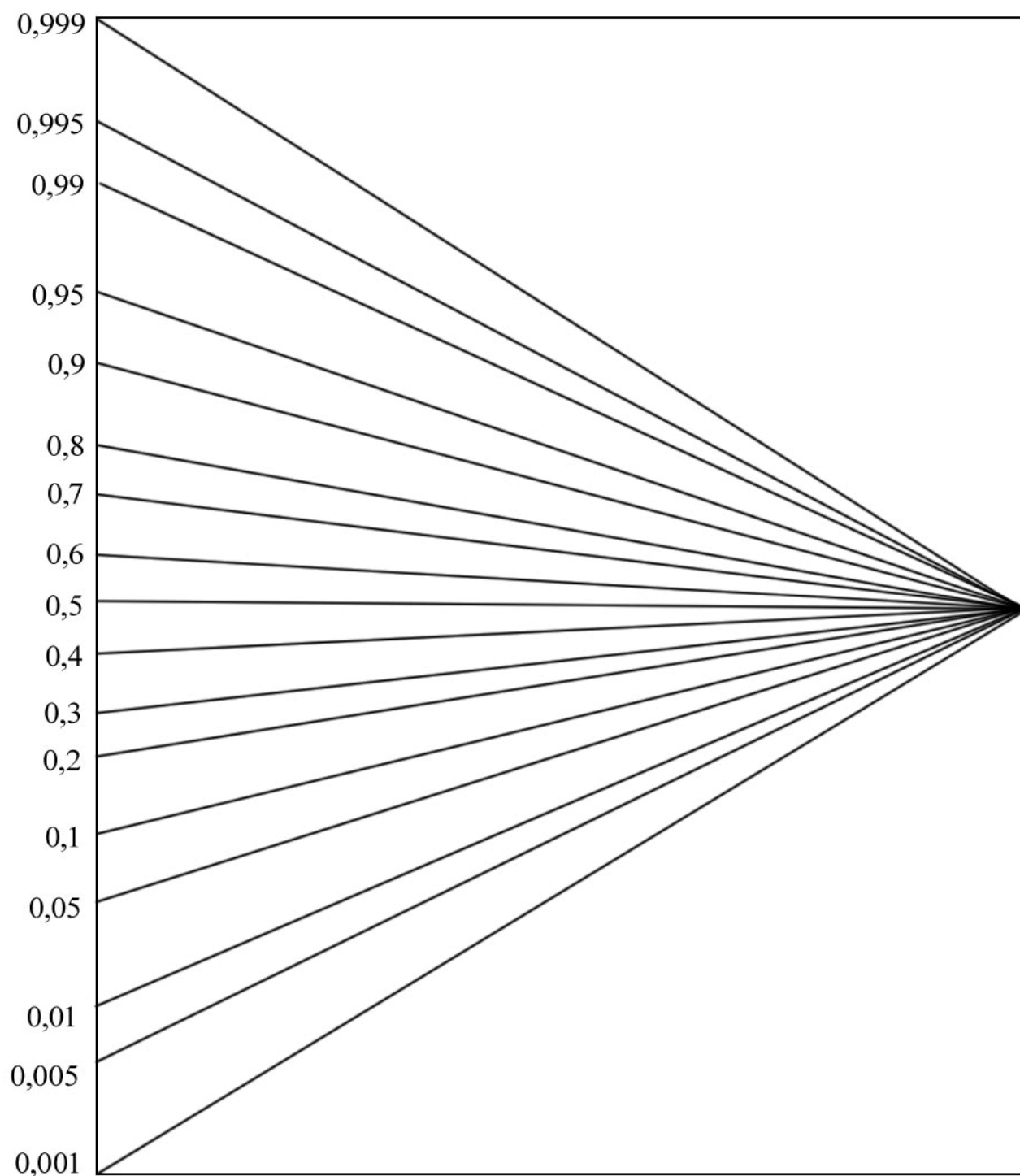
ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Средние значения случайного времени восстановления τ_i элементов и функциональных частей РЭУ (для учебных целей)

Элемент, функциональная часть РЭУ	τ_i , ч
Цифровые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции	1,5
Цифровые интегральные микросхемы большой и сверхбольшой степени интеграции	0,5
Аналоговые интегральные микросхемы малой и средней степени интеграции	1,2
Транзисторы большой мощности	0,7
Транзисторы средней и малой мощности	0,8
Резисторы постоянные	0,5
Резисторы переменные	1,2
Конденсаторы неполярные	1,1
Конденсаторы электролитические	0,55
Диоды (кроме выпрямительных)	0,6
Диоды выпрямительные	0,4
Блоки (мосты) выпрямительные	0,3
Стабилитроны	0,5
Переключатели	0,7
Соединители (разъёмы)	2,0
Катушки индуктивности	1,3
Трансформаторы	2,2
Дроссели	1,4
Предохранители	0,1
Платы печатного монтажа	3,0
Монтажные провода	0,5
ТЭЗы устройств цифровой обработки информации	0,5
Индикаторные устройства	1,5
Сигнальные и индикаторные лампочки	0,2
Реле	2,6
Тумблеры, кнопки	0,6
Зажимы, гнёзда, клеммы	0,8
Шнуры питания	0,3
Пайки	0,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

**Шаблоны для построения вероятностных сеток и
вероятностные сетки (бумага) некоторых законов
распределения**



**Рис.П5.1. Шаблон для построения шкалы накопленных частот
вероятностной бумаги нормального распределения
(шкала параметра – равномерная)**

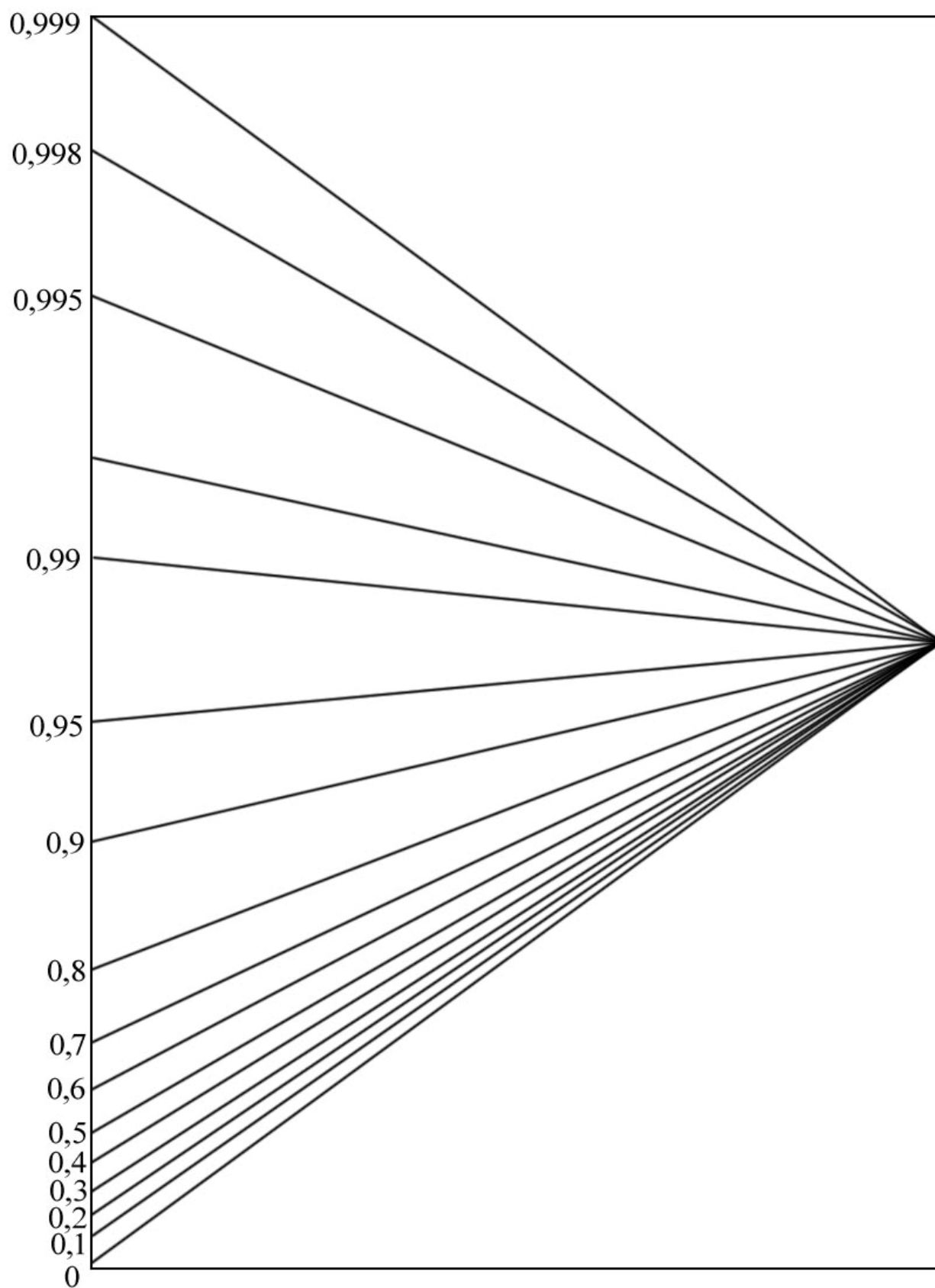


Рис.П5.2. Шаблон для построения шкалы накопленных частот
вероятностной бумаги экспоненциального распределения
(шкала параметра – равномерная)

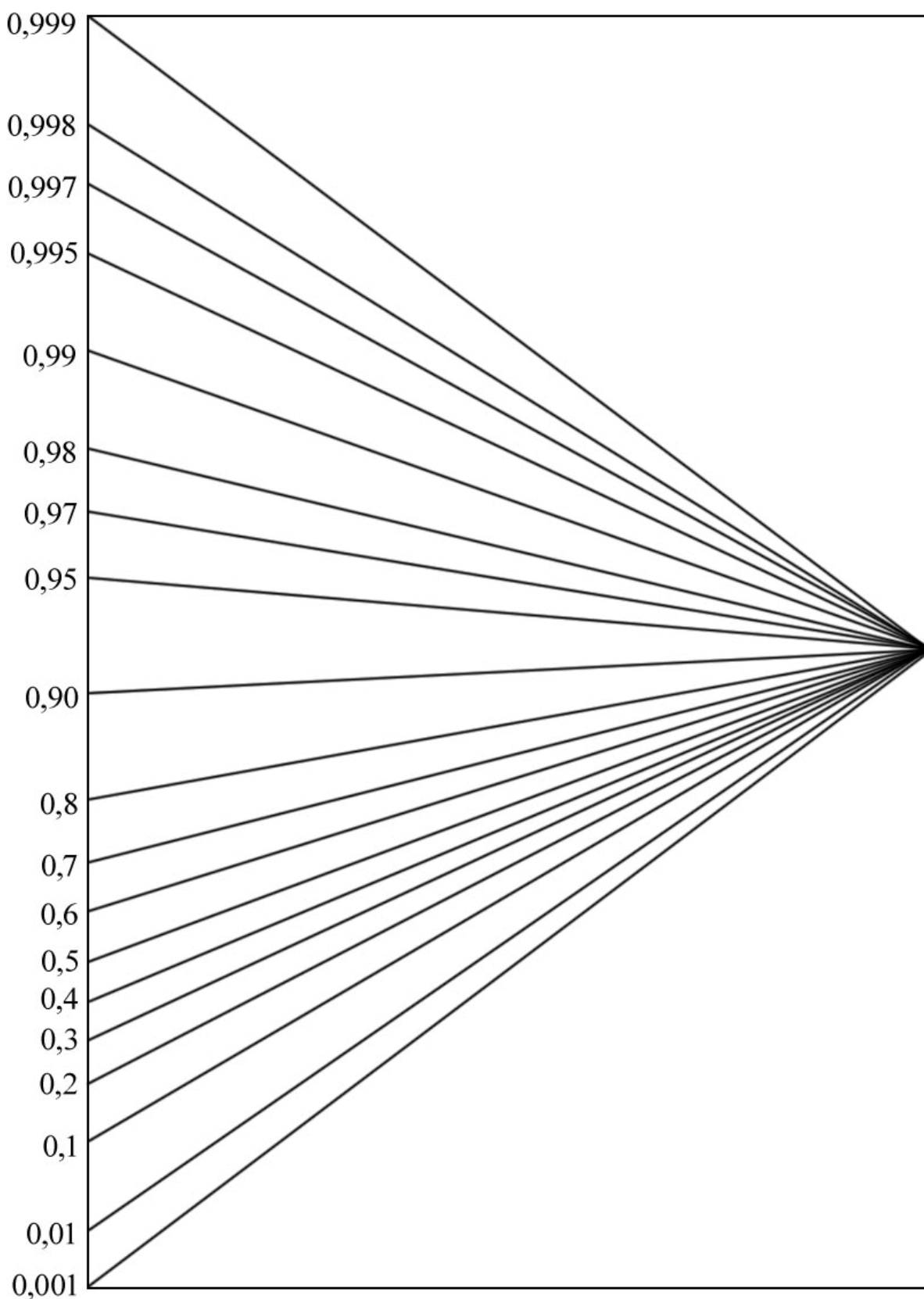


Рис.П5.3. Шаблон для построения шкалы накопленных частот вероятностной бумаги распределения Вейбулла (шкала параметра строится с помощью шаблона, приведенного на рис.5.4)

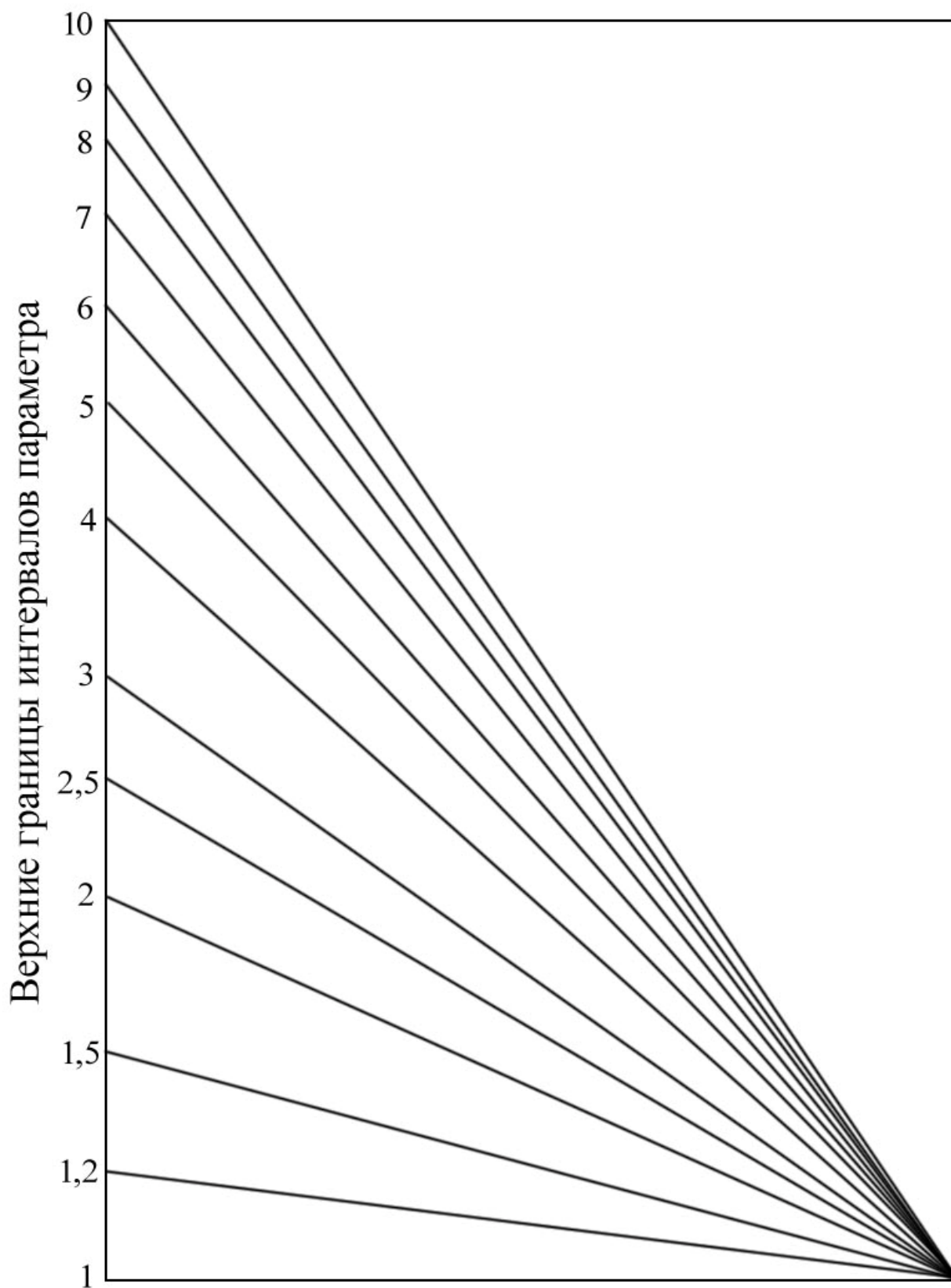
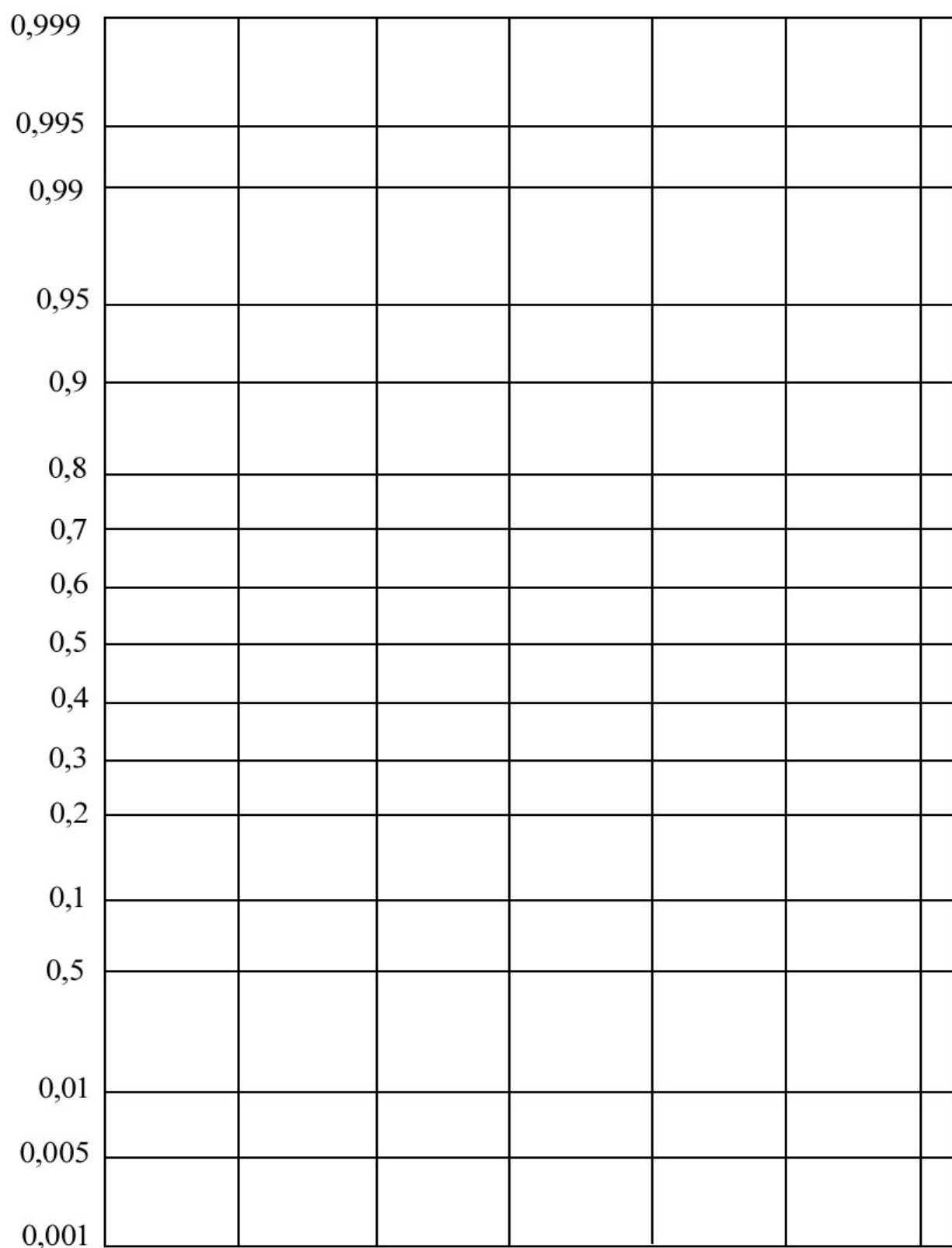


Рис.П5.4. Шаблон для построения шкалы параметра вероятностной бумаги логарифмически нормального распределения и распределения Вейбулла (шкала накопленных частот строится с помощью шаблонов, приведенных на рис.5.1 и рис.5.3)



Значения или верхние границы параметра

**Рис.П5.5. Вероятностная бумага нормального распределения
(шкала абсцисс – равномерная)**

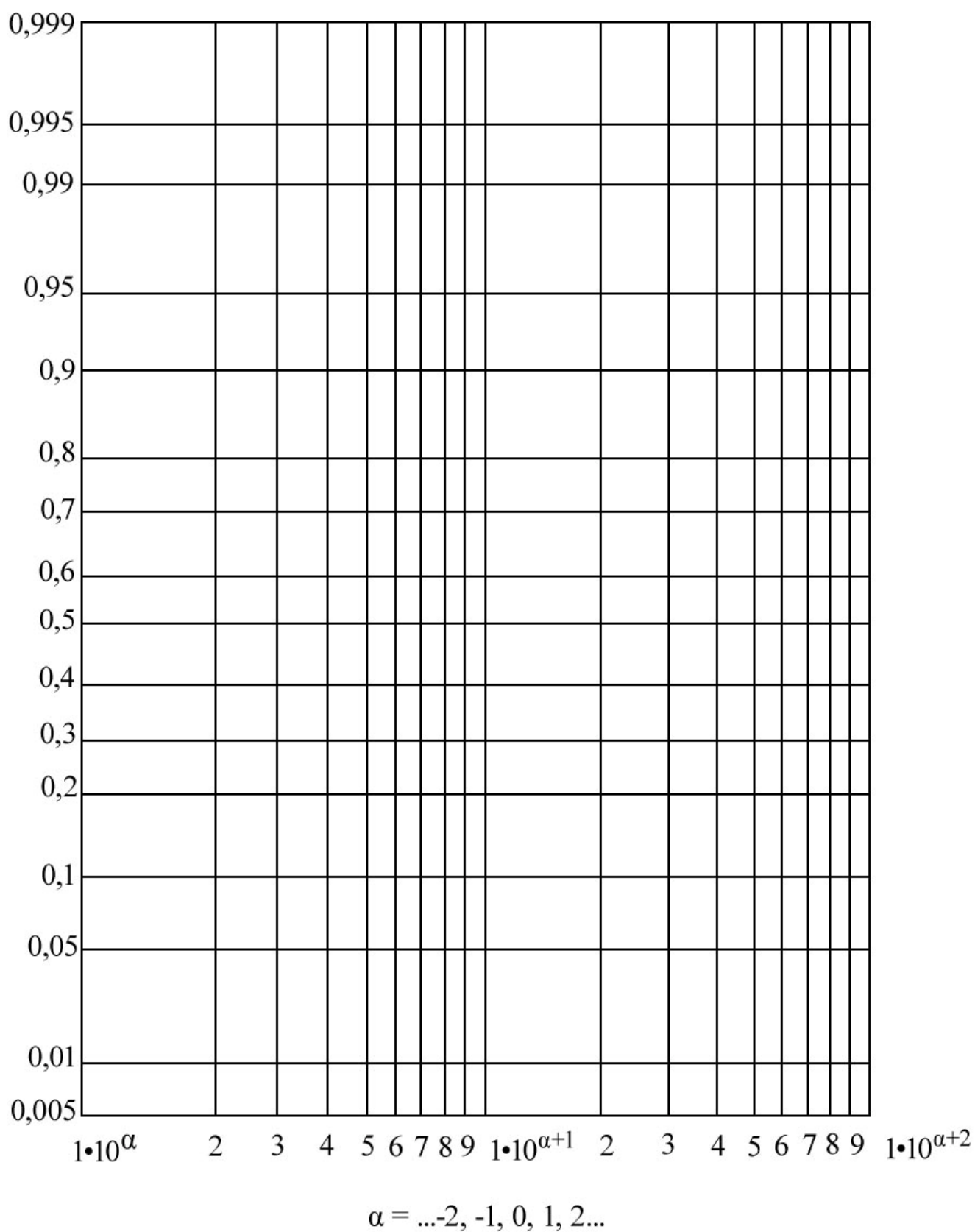
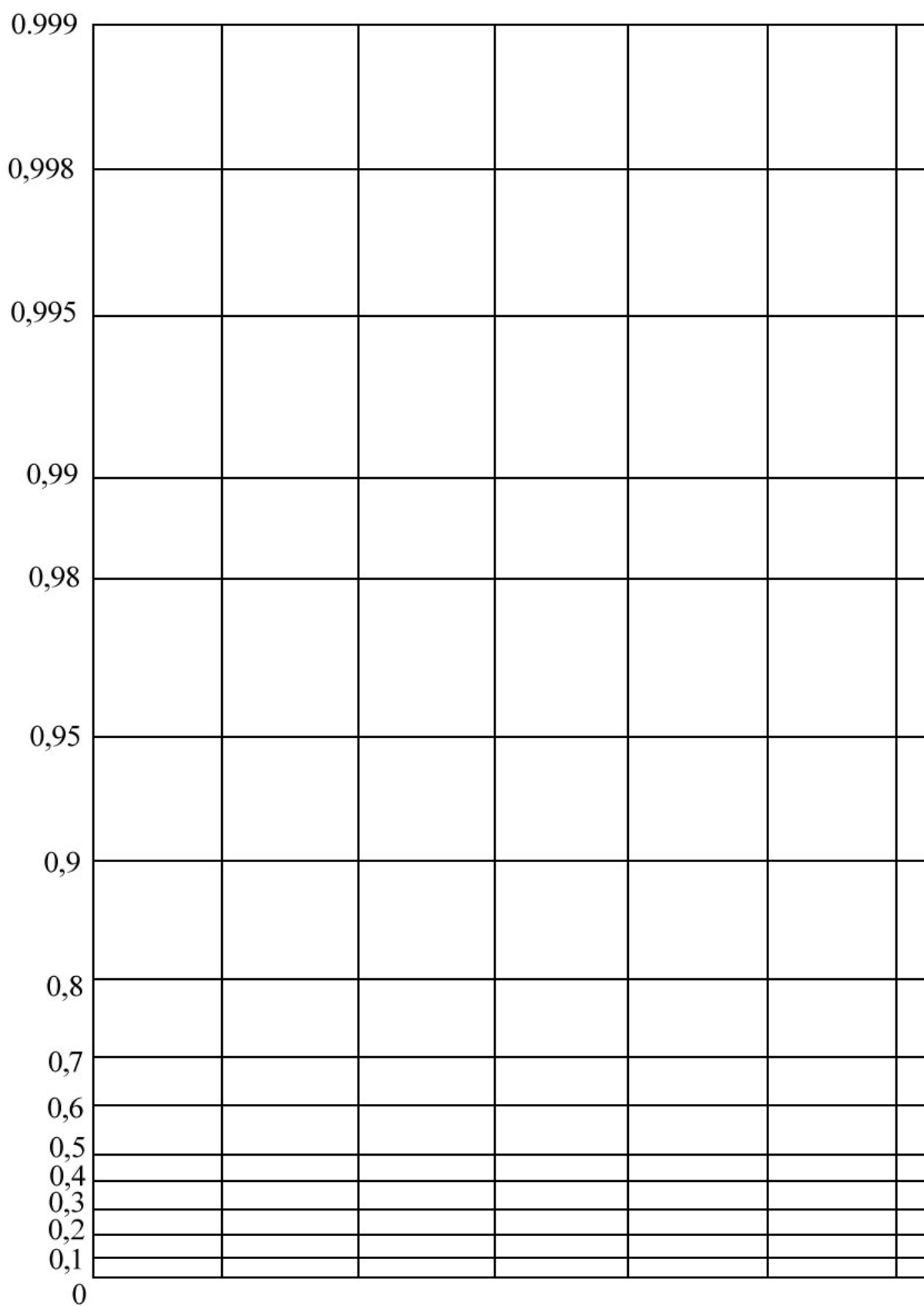


Рис.П5.6. Вероятностная бумага логарифмически нормального распределения (шкала абсцисс строится по шаблону, приведенному на рис.5.4)



Значения или верхние границы интервалов параметра

**Рис.П5.7. Вероятностная бумага экспоненциального распределения
(шкала абсцисс – равномерная)**

ЛИТЕРАТУРА

1. Кофанов Ю.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭС: Учебник для вузов. — М.: Радио и связь, 1991. — 359 с.
2. САПР: Системы автоматизированного проектирования: Учеб. пособие для ВТУЗов: В 9 кн. Кн. 1. Принципы построения и структура/ И.П.Норенков. — Мн.: Выш. шк., 1987. — 123 с.
3. Варламов Р.Г. Компонировка радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, 1975. — 352 с.
4. Конструирование и расчет больших гибридных интегральных схем, микросборок и аппаратуры на их основе / Под ред. Б.Ф. Высоцкого. — М.: Радио и связь, 1981. — 216 с.
5. Микроэлектроника: Учеб. пособие для втузов. В 9 кн./ Под ред. Л.А.Коледова. Кн. 5. И.Я.Козырь. Качество и надежность интегральных микросхем. — М.: Высш. шк., 1987. — 144 с.
6. Яншин А.А. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности ЭВА: Учеб. пособие для вузов. — М.: Радио и связь, 1983. — 312 с.
7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969. — 576 с.
8. Зажигаев Л.С., Кишьян А.А., Романиков Ю.И. Методы планирования и обработки результатов физического эксперимента. — М.: Атомиздат, 1978. — 232 с.
9. Румшинский Л.З. Математическая обработка результатов эксперимента. Справочное руководство. — М.: Наука, 1971. — 192 с.
10. Герасимович А.И. Математическая статистика: Учеб. пособие для инж.-техн. и экон. спец. ВТУЗов. — Мн.: Выш. шк., 1983. — 279 с.
11. Закс Л. Статистическое оценивание — М.: Статистика, 1976. — 598 с.

12. Герчук Я.П. Графики в математико-статистическом анализе. — М.: Статистика, 1972. — 77 с.
13. Шиндовский Э., Шюрц О. Статистические методы управления качеством. — М.: Мир, 1976. — 598 с.
14. Львович Я.Е., Фролов В.Н. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности РЭА: Учеб. пособие для ВУЗов. — М.: Радио и связь, 1986. — 192 с.
15. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. — 2-е изд. перераб. и доп. М.: Наука, 1976. — 279 с.
16. Соболев И.М. Метод Монте-Карло. — 4-е изд., дополн. — М.: Наука, 1985. — 78 с.
17. Фомин А.В., Борисов В. Ф., Чермошенский В.В. Допуски в радиоэлектронной аппаратуре. М.: Сов. радио, 1973. — 129 с.
18. Надежность в технике. Основные понятия термины и определения. ГОСТ 27.002-89 — Издательство стандартов, 1990.
19. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. Методология. Организация. Терминология/ Под ред. А.И. Рембезы. — М.: Машиностроение, 1986. — 224 с.
20. Надежность технических систем. Справочник /Ю.К. Беляев, В.А. Богатырев, В.В. Болотин и др./ Под ред. И.А. Ушакова — М.: Радио и связь, 1985. — 608 с.
21. European Organization of the Quality Control Glossary. — Bern: EOQC. 1988. — 24 p.
22. Надежность и эффективность в технике. Справочник в 10 т. /Ред. совет: В.С. Авдеевский (пред.) и др. Т. 2. Математические методы в теории надежности и эффективности /Под ред. Б.В. Гнеденко. — М.: Машиностроение, 1987. — 280 с.
23. Широков А.М. Надежность радиоэлектронных устройств. Учеб. пособие для вузов. — М.: Высш. школа, 1972. — 272 с.
24. Шишенок Н.А., Репкин В.Ф., Барвинский Л.Л. Основы теории надежности и эксплуатации радиоэлектронной техники /Под ред. Н.А. Шишонка. — М.: Сов. радио, 1964. — 552 с.

25. Harris A.P., Parsons M.F. Duchesne C.J.M. Establishing and confirming R and M. requirements for DND vehicles. "Microelectronics and Reliability, 1980, 20, №1/2, 55-73 — Экспресс-информация. Надежность и контроль качества — М.: — ВИНТИ, 1981, №37.

26. Боровиков СМ. Надежность радиоэлектронных устройств: Учеб. пособие для студентов радиоэлектронных специальностей. — Мн.: БГУИР, 1997. — 80 с.

27. Улинич Р.Б. Практическое обеспечение надежности РЭА при проектировании. — М.: Радио и связь, 1985. — 112 с. (Б-ка инженера по надежности).

28. Чернышев А.А. Основы надежности полупроводниковых приборов и интегральных микросхем. — М.: Радио и связь 1988. — 256 с.

29. Чуев Ю.В. и др. Прогнозирование количественных характеристик процессов. — М.: Сов. радио, 1975. — 398 с.

30. Гаскаров Д.В., Голинкевич Т.А., Мозгалеvский А.В. Прогнозирование технического состояния и надежности радиоэлектронной аппаратуры. — М.: Сов. радио, 1974. — 222 с.

31. Боровиков СМ. Результаты исследования эффективности некоторых алгоритмов индивидуального прогнозирования метода пороговой логики. — В межвуз. сб. "Испытания и защита РЭА." — М.: ВЗМИ, 1982.

32. Акулич И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах. — Мн.: Выш. школа, 1993. — 336 с.

33. Фурунжиев Р.И. Вычислительная техника и ее применение: Учеб. пособие для вузов — Мн.: Выш. школа, 1975. — 400 с.

34. Боровиков СМ., Латышев В.Г., Цырельчук Н.А. и др. Лабораторный практикум по курсу "Теоретические основы конструирования, технологии и надежности" для студентов специальности "Проектирование и производство радиоэлектронных средств". В 2-х частях. Ч. 2 /Под ред. СМ. Боровикова. — Мн.: БГУИР, 1997. — 65 с.

35. Цветков А.Ф. Вероятностное моделирование: Учеб. пособие. — Рязань: РРТИ, 1989. — 64 с.

36. Боровиков СМ. Стасюк Д.М. Статистическое моделирование параметров конструкций и технологических процессов. Учеб. пособие для студентов радиотехнических специальностей. — Мн.: БГУИР. 1997. — 46 с.

37. Сборник научных программ на Фортране. Вып. 1. Статистика/ Пер. с англ. (США). — М.: Статистика, 1974. — 316 с.

38. Большев Л.Н., Смирнов Н.В. Таблицы математической статистики. — М.: Наука, 1983. — 416 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ	3
ВВЕДЕНИЕ.....	
Глава 1 ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ПАРАМЕТРОВ. СИСТЕМНЫЕ МЕТОДЫ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ТЕХНОЛОГИИ РЭУ	7
1.1.Выходные и первичные параметры.....	7
1.2.Конструкторские параметры.....	8
1.3.Единичные и комплексные показатели качества	11
1.4.Методы оценки уровня качества.....	14
1.5.Суть системного подхода к проектированию конструкций и технологии.....	15
Глава 2. ВЕРОЯТНОСТНОЕ ОПИСАНИЕ ПАРАМЕТРОВ.....	18
2.1. Случайный характер параметров и их вероятностное описание	18
2.2. Модели законов распределения параметров.....	19
2.2.1.Общие сведения.....	19
2.2.2.Нормальная модель	20
2.2.3.Усеченная нормальная модель	22
2.2.4.Логарифмически нормальная модель.....	23
2.2.5.Равномерная модель	24
2.3. Пути вероятностного описания совокупности параметров	26
2.4.Корреляция параметров	27
2.5.Вероятностное описание зависимых параметров.....	29
2.6. Экспериментальное определение вероятностного описания	30
2.6.1.Основные задачи математической статистики.....	30
2.6.2.Требования, предъявляемые к оценкам параметров	31
2.6.3.Определение точечных оценок математических ожиданий и средних квадратических отклонений параметров	32
2.6.4.Определение интервальных оценок параметров	33
2.6.5.Определение требуемого числа наблюдений параметра.....	36

2.6.6. Оценка коэффициентов парной корреляции	37
2.6.7. Определение законов распределения параметров на основе опытных данных	41
2.6.8. Применение вероятностных сеток (бумаги) для проверки гипотез о законах распределения параметров	47
2.7. Применение вероятностного описания параметров для решения инженерных задач	50
2.7.1. Некоторые рекомендации по использованию моделей законов распределения параметров	50
2.7.2. Примеры применения моделей законов распределения параметров	53

Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ	56
3.1. Понятие моделей	56
3.1.1. Общие сведения о моделировании и моделях	56
3.1.2. Регрессионные модели	57
3.2. Метод наименьших квадратов	58
3.3. Нахождение приближающих математических моделей в виде элементарных функций	61
3.3.1. Линейная функция	61
3.3.2. Показательная функция	62
3.3.3. Степенная функция	62
3.3.4. Логарифмическая функция	63
3.3.5. Дробно-линейная функция	63
3.3.6. Гипербола	64
3.3.7. Дробно-рациональная функция	64
3.4. Способы получения математических моделей	64
3.5. Применение пассивного эксперимента для получения математических моделей	65
3.6. Получение математических моделей с помощью активных факторных экспериментов	68
3.6.1. Задачи теории планирования эксперимента	68
3.6.2. Основы теории планирования активных факторных экспериментов	69
3.6.3. Полный факторный эксперимент (ПФЭ)	70

3.7. Планирование ПФЭ и его выполнение.....	72
3.8. Статистическая обработка результатов ПФЭ.....	75
3.9. Дробный факторный эксперимент (ДФЭ).....	81
3.10. Планирование ДФЭ	82
3.11. Выполнение ДФЭ и обработка его результатов	86

Глава 4. АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ И СТАБИЛЬНОСТИ

ВЫХОДНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	87
4.1. Серийнопригодность конструкции	87
4.2. Виды допусков, устанавливаемых на параметры	88
4.3. Точность и стабильность параметров.....	91
4.3.1. Точность выходных параметров	91
4.3.2. Стабильность выходных параметров.....	91
4.3.3. Описание точности и стабильности параметров элементов.....	92
4.4. Методы анализа точности выходных параметров.....	94
4.4.1. Уравнения производственных погрешностей выходных параметров.....	94
4.4.2. Методы определения производственных допусков на выходные параметры.....	95
4.5. Определение производственного допуска методом "min-max"	96
4.6. Анализ точности выходных параметров вероятностным методом	99
4.6.1. Выбор критериев оценки точности	99
4.6.2. Расчетные соотношения, используемые для оценки точности выходных параметров.....	99
4.6.3. Примеры анализа точности выходного параметра	102
4.7. Анализ точности выходных параметров методом Монте-Карло	105
4.7.1. Назначение метода	105
4.7.2. Сущность метода.....	106
4.7.3. Метод Монте-Карло с использованием математического моделирования.....	107
4.7.4. Метод Монте-Карло с использованием физического моделирования.....	109
4.8. Анализ стабильности выходных параметров радиоэлектронных устройств и технических процессов.....	110

4.8.1. Стабильность выходных параметров и принцип ее оценки.....	110
4.8.2. Определение температурных допусков и допусков старения.....	111
4.9. Определение эксплуатационных допусков.....	117
4.9.1. Исходные предпосылки.....	117
4.9.2. Методика определения эксплуатационного допуска.....	117
4.9.3. Пример расчета эксплуатационного допуска.....	119
4.10. Обеспечение требований к точности выходных параметров.....	124
4.10.1. Разработка требований к точности выходных параметров.....	124
4.10.2. Обеспечение требований к точности выходных параметров.....	125
4.11. Способы определения коэффициентов влияния.....	126
4.11.1. Аналитические способы.....	126
4.11.2. Экспериментально-расчетный способ.....	129
Глава 5. ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЁЖНОСТИ, МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И НАДЁЖНОСТИ РЭУ.....	131
5.1. Причины обострения проблемы надежности РЭУ.....	131
5.2. Основные понятия и определения теории надежности.....	131
5.3. Понятие отказа. Классификация отказов.....	133
5.4. Схемы соединения элементов в устройстве с точки зрения надежности.....	134
5.5. Причины отказов РЭУ.....	135
5.6. Модели законов распределения времени до отказа.....	136
5.7. Показатели надежности РЭУ и их элементов.....	138
5.8. Вероятность безотказной работы и вероятность отказа.....	141
5.9. Интенсивность отказов.....	143
5.10. Нарботка на отказ (средняя наработка на отказ).....	145
5.11. Среднее время безотказной работы.....	146
5.12. Параметр потока отказов.....	147
5.13. Среднее время восстановления и вероятность восстановления.....	147
5.14. Эксплуатационные коэффициенты надежности.....	148

5.15. Надежность элементов РЭУ	150
5.15.1. Интенсивность отказов как основная характеристика надежности элементов	150
5.15.2. Коэффициенты электрической нагрузки элементов	152
5.15.3. Формулы для определения коэффициентов электрической нагрузки некоторых элементов	153
5.15.4. Краткая характеристика надежности элементов	155
5.15.5. Учет влияния на надежность элементов электрического режима и условий работы	156
5.16. Оценка показателей надежности проектируемых РЭУ (основные расчетные соотношения)	158
5.17. Ориентированный (приближенный) расчет показателей надежности проектируемых РЭУ	159
5.18. Расчет показателей надежности проектируемых РЭУ с учетом коэффициентов электрической нагрузки и условий работы элементов в составе устройств	162
5.19. Примеры оценки показателей надежности проектируемого РЭУ	164
5.20. Расчет показателей надежности при разных законах распределения времени до отказа элементов	172
5.21. Параметрическая надежность РЭУ	176
5.21.1. Параметрическая надежность и функционирование РЭУ	176
5.21.2. Причины, обуславливающие появление постепенных отказов	176
5.22. Оценка параметрической надежности РЭУ на этапе проектирования	177
5.23. Использование вероятностных моделей старения параметров РЭУ и элементов	188
5.24. Пути обеспечения параметрической надежности РЭУ на этапе проектирования	191
5.25. Методы повышения надежности РЭУ	193
5.25.1. Понятие эксплуатационной надежности РЭУ	193
5.25.2. Общая характеристика методов повышения надежности РЭУ	193

5.26.Резервирование как метод повышения надежности РЭУ	194
5.27.Характеристика постоянного резервирования.....	196
5.28.Оценка показателей безотказности устройства при наличии постоянного резервирования	197
5.29.Характеристика резервирования замещением	201
5.30.Анализ безотказности РЭУ при наличии резервирования замещением (нагруженный резерв)	203
5.31.Анализ безотказности РЭУ при наличии резервирования замещением с облегченным режимом работы резервных элементов.....	205
5.32.Анализ безотказности РЭУ при наличии резервирования замещением с ненагруженным режимом работы резервных элементов	207
5.33. Теоретическое обоснование тренировки как метода снижения интенсивности отказов элементов	208

Глава 6. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ И РЭУ	212
6.1.Понятие прогнозирования и его классификация.....	212
6.2.Приемы выполнения эвристического прогнозирования	213
6.3.Характеристика индивидуального прогнозирования с использованием методов экстраполяции	214
6.4.Приемы решения задач индивидуального прогнозирования с использованием методов экстраполяции	216
6.5.Общая характеристика индивидуального прогнозирования распознаванием образов.....	218
6.6.Характеристики ошибок прогнозирования в методах индивидуального прогнозирования распознаванием образов	220
6.7. Этапы решения задач индивидуального прогнозирования распознаванием образов.....	220
6.7.1.Обучающий эксперимент и обучение.....	220
6.7.2.Выбор порога разделения классов (экзамен).....	222

6.7.3. Оценка вероятностей правильных и ошибочных решений.....	224
6.7.4. Прогнозирование однотипных изделий, не участвовавших в обучающем эксперименте.....	225
6.8. Рекомендации по выбору информативных параметров (признаков) для элементов РЭУ.....	225
6.9. Методы построения прогнозирующих правил.....	226
6.10. Прогнозирование методом пороговой логики.....	227
6.11. Пример построения прогнозирующего правила.....	231
Глава 7. ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ В КОНСТРУИРОВАНИИ И ТЕХНОЛОГИИ РАДИОЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ.....	235
7.1. Понятие задач оптимизации.....	235
7.2. Общий порядок решения задач оптимизации.....	236
7.3. Способы построения целевой функции.....	238
7.4. Краткая характеристика математических методов решения задач оптимизации.....	240
7.5. Метод динамического программирования.....	241
7.6. Алгоритм оптимизации методом случайного поиска.....	244
7.7. Примеры решения задач оптимизации.....	248
Глава 8. СИСТЕМЫ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ РЭУ.....	255
8.1. Понятие и характеристики систем массового обслуживания.....	255
8.2. Поток событий (заявок) и их математическое описание.....	255
8.3. Виды СМО в технологии РЭУ.....	256
8.4. Математическое описание СМО с отказом.....	257
8.5. Математическое описание "чистой" СМО с ожиданием.....	259
8.6. Математическое описание СМО смешанного типа с ограничением длины очереди.....	261
Глава 9. СТАТИСТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ.....	264
9.1. Статистическое моделирование как метод исследования параметров конструкций и технологических процессов.....	264

9.2. Основы моделирования случайных параметров	265
9.3. Моделирование случайных чисел с нормальным распределением	266
9.4. Методы получения случайных чисел с любым законом распределения	268
9.5. Моделирование дискретных случайных величин	271
9.6. Моделирование случайных чисел с биномиальным распределением	272
9.7. Моделирование случайных чисел с распределением Пуассона	273
9.8. Моделирование коррелированных случайных параметров с нормальными распределениями	274
9.9. Получение коррелированных случайных параметров с любыми законами распределения	275
9.10. Исследование выходных параметров РЭУ и технологических процессов методом Монте-Карло	283
9.11. Моделирование производственных погрешностей параметров РЭУ массового производства	287
9.12. Моделирование надежности РЭУ	291
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	295
ПРИЛОЖЕНИЕ 1. Статистические таблицы	296
ПРИЛОЖЕНИЕ 2. Интенсивность отказов элементов	307
ПРИЛОЖЕНИЕ 3. Значение поправочных коэффициентов	311
ПРИЛОЖЕНИЕ 4. Средние значения случайного времени восстановления элементов и функциональных частей РЭУ	316
ПРИЛОЖЕНИЕ 5. Шаблоны для построения вероятностных сеток и вероятностные сетки (бумага) некоторых законов распределения	317
ЛИТЕРАТУРА	324