

Федеральное агентство по образованию
Волгоградский государственный технический университет

Кафедра “Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей”

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ

Задания и методические рекомендации по выполнению семестровой работы

“Определение надежности технического объекта
по экспериментальным данным”



Волгоград

2009

Рецензент И. М. Рябов

Основы теории надежности и диагностики: задания и методические рекомендации по выполнению семестровой работы «Определение надежности технического объекта по экспериментальным данным» / сост. К. В. Чернышов; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2009. – 56 с.

Представлены задания и методические рекомендации для выполнения семестровой работы по дисциплине «Основы теории надежности и диагностики».

Предназначены для студентов очной формы обучения по специальности 150200 «Автомобили и автомобильное хозяйство». Могут быть полезны студентам заочной формы обучения той же специальности.

Ил. 20. Табл. 10. Библиогр.: 14 назв.

Печатается по решению редакционно-издательского совета Волгоградского государственного технического университета

© **Волгоградский
государственный
технический
университет, 2009**

ЗАДАНИЯ К СЕМЕСТРОВОЙ РАБОТЕ

Под термином «определение надежности» понимают определение численных показателей надежности объекта. Работа заключается в определении надежности экспериментальным методом, то есть, методом, основанным на статистической обработке данных, получаемых при испытаниях или эксплуатации объекта.

В таблице, соответствующей варианту индивидуального задания, (табл. 3) представлены результаты испытаний n образцов некоторого технического объекта в течение времени $t_{\text{исп}}$. Предлагается, используя эти результаты, выполнить следующие пять заданий.

Задание 1

Построить статистический график функции распределения наработки технического объекта $\hat{F}(t)$, статистический график функции надежности $\hat{R}(t)$, гистограмму наработки $\hat{f}(t)$ и статистический график интенсивности отказов $\hat{\lambda}(t)$.

Задание 2

Выбрать наиболее подходящий закон распределения наработки объекта, используя метод проверки гипотез. На построенные статистические графики нанести соответствующие вероятностные зависимости.

Для антимодальных распределений необходимо сделать выбор между экспоненциальным распределением и распределением Вейбулла. Для «стареющих» распределений необходимо сделать выбор между нормальным распределением и распределением Вейбулла.

Задание 3

Сделать вывод о виде наработки – наработка до отказа (продолжительность работы до первого отказа), ресурс (наработка до перехода в предельное состояние), срок службы (календарная продолжительность эксплуатации до перехода в предельное состояние) – и исследуемом этапе эксплуатации объекта (этап приработки, нормальной работы или старения). Обосновать вывод.

Задание 4

Определить статистическую оценку вероятности безотказной работы объекта в течение времени t_* , а затем, пользуясь полученными вероятностными зависимостями, определить вероятность безотказной работы объекта в течение времени t_* , а также γ -процентную наработку объекта.

Величина γ определяется предпоследней цифрой номера зачетной книжки по таблице 1. Например, номеру зачетной книжки 596784 соответствует вариант задания 8.

Таблица 1

Вариант задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Значение γ , %	80	85	90	92	94	95	96	97	98	99

Задание 5

Определить границы доверительного интервала T_n и T_b оценки средней наработки объекта при доверительной вероятности β , а также доверительные границы оценки вероятности безотказной работы r_n и r_b и отказа q_n и q_b объекта за время t_* при той же доверительной вероятности.

Доверительная вероятность β определяется последней цифрой номера зачетной книжки по таблице 2. Например, номеру зачетной книжки 596784 соответствует вариант задания 4.

Таблица 2

Вариант задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
Доверительная вероятность β	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,9

ВАРИАНТЫ ЗАДАНИЙ

Вариант таблицы со статистическими данными для всех заданий соответствует трем последним цифрам номера зачетной книжки.

Время испытаний $t_{\text{исп}}$ совпадает с последним значением времени наблюдения в таблице. Например, заданию 009, 209, 409, 609, 809 соответствует $t_{\text{исп}} = 1200$ ч.

Таблица 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
001, 201, 401, 601, 801	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	–	–	–	300	50
	Число отказов Δm_j	103	68	46	25	17	12	10	8	5	3	2	1	–	–	–		
002, 202, 402, 602, 802	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	–	–	–	–	–	–	210	10
	Число отказов Δm_j	140	40	13	10	4	2	0	0	1	–	–	–	–	–	–		
003, 203, 403, 603, 803	Время наблюдения t_{j_2} , ч	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	–	–	–	–	510	15
	Число отказов Δm_j	212	148	72	41	17	9	6	3	1	0	1	–	–	–	–		
004, 204, 404, 604, 804	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	–	–	–	–	350	160
	Число отказов Δm_j	0	5	16	32	64	89	70	44	18	10	2	–	–	–	–		
005, 205, 405, 605, 805	Время наблюдения t_{j_2} , ч	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	–	470	150
	Число отказов Δm_j	0	1	7	23	43	79	96	84	75	44	11	6	0	1	–		
006, 206, 406, 606, 806	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	130	–	–	–	850	5
	Число отказов Δm_j	376	220	102	69	42	17	9	8	3	2	1	1	–	–	–		
007, 207, 407, 607, 807	Время наблюдения t_{j_2} , ч	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	–	–	–	–	310	30
	Число отказов Δm_j	7	15	32	42	45	71	38	24	22	11	3	–	–	–	–		
008, 208, 408, 608, 808	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	–	–	–	–	–	150	20
	Число отказов Δm_j	58	30	25	16	10	6	2	1	1	1	–	–	–	–	–		
009, 209, 409, 609, 809	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	1200	–	–	–	730	30
	Число отказов Δm_j	341	186	85	61	23	17	8	5	2	1	0	1	–	–	–		
010, 210, 410, 610, 810	Время наблюдения t_{j_2} , ч	55	110	165	220	275	330	385	440	495	550	605	–	–	–	–	490	20
	Число отказов Δm_j	338	87	38	13	7	4	1	1	0	0	1	–	–	–	–		
011, 211, 411, 611, 811	Время наблюдения t_{j_2} , ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	–	–	–	–	510	22
	Число отказов Δm_j	0	7	22	62	80	121	112	66	29	9	2	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
012, 212, 412, 612, 812	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	–	740	5
	Число отказов Δm_j	302	188	93	58	47	21	12	7	5	3	2	1	0	1	–		
013, 213, 413, 613, 813	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	–	–	–	–	160	30
	Число отказов Δm_j	62	30	26	14	10	8	5	2	1	1	1	–	–	–	–		
014, 214, 414, 614, 814	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	–	–	–	480	160
	Число отказов Δm_j	0	1	5	24	43	94	117	122	55	14	4	1	–	–	–		
015, 215, 415, 615, 815	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	–	–	–	360	190
	Число отказов Δm_j	0	1	2	9	17	59	95	74	65	27	9	2	–	–	–		
016, 216, 416, 616, 816	Время наблюдения t_{j_2} , ч	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	285	300	–	460	170
	Число отказов Δm_j	0	2	4	16	26	65	76	97	79	49	26	15	4	1	–		
017, 217, 417, 617, 817	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	150	–	860	5
	Число отказов Δm_j	335	218	113	66	59	28	14	11	6	4	2	2	1	1	–		
018, 218, 418, 618, 818	Время наблюдения t_{j_2} , ч	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	–	–	–	–	500	10
	Число отказов Δm_j	348	86	38	12	8	4	2	1	0	0	1	–	–	–	–		
019, 219, 419, 619, 819	Время наблюдения t_{j_2} , ч	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	–	–	–	–	–	520	5
	Число отказов Δm_j	188	164	83	44	21	10	6	2	1	1	–	–	–	–	–		
020, 220, 420, 620, 820	Время наблюдения t_{j_2} , ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	–	–	–	310	10
	Число отказов Δm_j	115	79	42	26	14	11	8	6	4	2	2	1	–	–	–		
021, 221, 421, 621, 821	Время наблюдения t_{j_2} , ч	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	–	–	–	340	160
	Число отказов Δm_j	0	3	7	16	34	78	88	62	36	10	5	1	–	–	–		
022, 222, 422, 622, 822	Время наблюдения t_{j_2} , ч	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	880	–	–	–	–	480	20
	Число отказов Δm_j	335	82	39	10	8	3	1	1	0	0	1	–	–	–	–		
023, 223, 423, 623, 823	Время наблюдения t_{j_2} , ч	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	880	1000	–	–	–	720	25
	Число отказов Δm_j	316	177	90	55	39	18	11	7	3	2	1	1	–	–	–		
024, 224, 424, 624, 824	Время наблюдения t_{j_2} , ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	–	–	–	500	22
	Число отказов Δm_j	0	7	22	56	80	108	121	57	35	11	2	1	–	–	–		
025, 225, 425, 625, 825	Время наблюдения t_{j_2} , ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	–	–	–	–	520	18
	Число отказов Δm_j	0	6	24	55	84	107	130	66	36	10	2	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
026, 226, 426, 626, 826	Время наблюдения t_{j_2} ч	315	350	385	420	455	490	525	560	595	630	665	–	–	–	–	210	450
	Число отказов Δm_j	0	3	0	5	34	50	58	34	17	6	3	–	–	–	–		
027, 227, 427, 627, 827	Время наблюдения t_{j_2} ч	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	–	–	–	370	180
	Число отказов Δm_j	0	4	6	26	69	71	79	59	34	14	7	1	–	–	–		
028, 228, 428, 628, 828	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	–	–	–	–	–	–	220	10
	Число отказов Δm_j	152	37	17	10	2	1	0	0	1	–	–	–	–	–	–		
029, 229, 429, 629, 829	Время наблюдения t_{j_2} ч	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	–	–	–	–	–	170	10
	Число отказов Δm_j	66	32	30	15	11	10	2	2	1	1	–	–	–	–	–		
030, 230, 430, 630, 830	Время наблюдения t_{j_2} ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	–	–	–	530	7
	Число отказов Δm_j	140	140	119	53	37	19	11	5	4	1	0	1	–	–	–		
031, 231, 431, 631, 831	Время наблюдения t_{j_2} ч	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	–	–	–	490	150
	Число отказов Δm_j	0	7	12	45	91	93	108	77	42	7	6	2	–	–	–		
032, 232, 432, 632, 832	Время наблюдения t_{j_2} ч	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	–	–	–	–	330	170
	Число отказов Δm_j	0	2	5	19	51	87	81	55	20	8	2	–	–	–	–		
033, 233, 433, 633, 833	Время наблюдения t_{j_2} ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	195	–	–	–	870	10
	Число отказов Δm_j	386	223	107	68	45	17	11	6	3	2	1	1	–	–	–		
034, 234, 434, 634, 834	Время наблюдения t_{j_2} ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	–	–	–	530	22
	Число отказов Δm_j	0	4	16	39	70	92	126	92	59	22	8	2	–	–	–		
035, 235, 435, 635, 835	Время наблюдения t_{j_2} ч	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	900	–	–	–	–	710	30
	Число отказов Δm_j	339	183	75	61	26	11	8	3	2	1	1	–	–	–	–		
036, 236, 436, 636, 836	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	–	–	–	–	–	320	10
	Число отказов Δm_j	133	82	43	25	13	10	7	4	2	1	–	–	–	–	–		
037, 237, 437, 637, 837	Время наблюдения t_{j_2} ч	130	260	390	520	650	780	910	1040	1170	1300	–	–	–	–	–	470	50
	Число отказов Δm_j	335	78	34	12	5	3	2	0	0	2	–	–	–	–	–		
038, 238, 438, 638, 838	Время наблюдения t_{j_2} ч	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	–	–	–	450	190
	Число отказов Δm_j	0	1	2	14	25	74	111	92	80	36	12	3	–	–	–		
039, 239, 439, 639, 839	Время наблюдения t_{j_2} ч	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	–	–	–	–	–	490	20
	Число отказов Δm_j	2	11	45	73	118	127	69	36	8	1	–	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
040, 240, 440, 640, 840	Время наблюдения t_{j_2} , ч	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700	–	–	–	–	–	180	30
	Число отказов Δm_j	69	34	32	18	12	8	3	2	1	1	–	–	–	–	–		
041, 241, 441, 641, 841	Время наблюдения t_{j_2} , ч	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	–	–	–	–	540	25
	Число отказов Δm_j	135	148	125	60	38	16	8	7	2	0	1	–	–	–	–		
042, 242, 442, 642, 842	Время наблюдения t_{j_2} , ч	315	350	385	420	455	490	525	560	595	630	–	–	–	–	–	230	400
	Число отказов Δm_j	0	1	5	17	51	58	61	30	4	3	–	–	–	–	–		
043, 243, 443, 643, 843	Время наблюдения t_{j_2} , ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	–	–	–	–	–	–	230	10
	Число отказов Δm_j	156	43	16	11	2	1	0	0	1	–	–	–	–	–	–		
044, 244, 444, 644, 844	Время наблюдения t_{j_2} , ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	–	–	–	–	540	17
	Число отказов Δm_j	0	4	18	52	83	113	137	73	44	14	2	–	–	–	–		
045, 245, 445, 645, 845	Время наблюдения t_{j_2} , ч	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	–	–	380	200
	Число отказов Δm_j	0	1	1	9	28	67	86	81	76	22	5	3	1	–	–		
046, 246, 446, 646, 846	Время наблюдения t_{j_2} , ч	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	–	–	–	440	190
	Число отказов Δm_j	0	7	10	41	79	84	93	71	40	7	6	2	–	–	–		
047, 247, 447, 647, 847	Время наблюдения t_{j_2} , ч	170	340	510	680	850	1020	1190	1360	1530	1700	–	–	–	–	–	460	100
	Число отказов Δm_j	292	81	37	25	10	8	3	2	0	2	–	–	–	–	–		
048, 248, 448, 648, 848	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	–	–	–	–	330	20
	Число отказов Δm_j	134	87	47	25	12	9	6	4	3	2	1	–	–	–	–		
049, 249, 449, 649, 849	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	–	–	–	–	–	320	160
	Число отказов Δm_j	0	6	22	48	86	76	57	18	6	1	–	–	–	–	–		
050, 250, 450, 650, 850	Время наблюдения t_{j_2} , ч	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	–	–	500	150
	Число отказов Δm_j	0	1	4	6	23	60	104	113	101	49	27	10	2	–	–		
051, 251, 451, 651, 851	Время наблюдения t_{j_2} , ч	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	–	–	–	–	480	20
	Число отказов Δm_j	2	11	34	70	96	116	82	47	19	2	1	–	–	–	–		
052, 252, 452, 652, 852	Время наблюдения t_{j_2} , ч	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	–	–	–	–	880	25
	Число отказов Δm_j	438	221	104	70	22	12	7	3	2	0	1	–	–	–	–		
053, 253, 453, 653, 853	Время наблюдения t_{j_2} , ч	70	140	210	280	350	420	490	560	630	700	770	840	–	–	–	700	40
	Число отказов Δm_j	322	182	82	62	23	14	8	3	2	1	0	1	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
054, 254, 454, 654, 854	Время наблюдения t_{j_2} , ч	140	160	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	–	–	–	390	210
	Число отказов Δm_j	0	5	8	31	72	76	85	63	36	6	6	2	–	–	–		
055, 255, 455, 655, 855	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	–	–	–	–	–	550	15
	Число отказов Δm_j	124	146	130	71	44	21	7	5	1	1	–	–	–	–	–		
056, 256, 456, 656, 856	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	890	30
	Число отказов Δm_j	343	216	125	76	60	28	15	12	6	3	2	2	1	0	1		
057, 257, 457, 657, 857	Время наблюдения t_{j_2} , ч	315	350	385	420	455	490	525	560	595	630	665	–	–	–	–	220	400
	Число отказов Δm_j	0	1	2	13	34	64	54	38	10	3	1	–	–	–	–		
058, 258, 458, 658, 858	Время наблюдения t_{j_2} , ч	20	40	60	80	100	120	140	160	–	–	–	–	–	–	–	110	50
	Число отказов Δm_j	1	5	8	18	27	24	16	11	–	–	–	–	–	–	–		
059, 259, 459, 659, 859	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	–	–	–	340	30
	Число отказов Δm_j	123	94	48	29	13	10	7	6	4	3	2	1	–	–	–		
060, 260, 460, 660, 860	Время наблюдения t_{j_2} , ч	90	180	270	360	450	540	630	720	810	–	–	–	–	–	–	190	50
	Число отказов Δm_j	79	37	30	18	14	6	3	2	1	–	–	–	–	–	–		
061, 261, 461, 661, 861	Время наблюдения t_{j_2} , ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	–	–	–	–	–	240	5
	Число отказов Δm_j	156	51	14	11	5	1	1	0	0	1	–	–	–	–	–		
062, 262, 462, 662, 862	Время наблюдения t_{j_2} , ч	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	–	–	–	470	20
	Число отказов Δm_j	2	10	29	67	73	111	81	58	25	11	2	1	–	–	–		
063, 263, 463, 663, 863	Время наблюдения t_{j_2} , ч	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	–	–	–	430	210
	Число отказов Δm_j	0	1	4	29	52	92	112	78	40	18	3	1	–	–	–		
064, 264, 464, 664, 864	Время наблюдения t_{j_2} , ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	–	–	–	–	–	450	15
	Число отказов Δm_j	292	75	36	24	9	7	3	2	0	2	–	–	–	–	–		
065, 265, 465, 665, 865	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	150	–	690	15
	Число отказов Δm_j	258	169	96	54	48	27	14	10	5	4	2	1	1	1	–		
066, 266, 466, 666, 866	Время наблюдения t_{j_2} , ч	4	8	12	16	20	24	28	32	36	40	44	48	52	–	–	550	25
	Число отказов Δm_j	0	2	6	21	49	71	90	114	91	60	34	9	3	–	–		
067, 267, 467, 667, 867	Время наблюдения t_{j_2} , ч	35	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	–	–	–	–	310	150
	Число отказов Δm_j	0	3	6	33	61	89	60	37	18	2	1	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
068, 268, 468, 668, 868	Время наблюдения t_{j_2} ч	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	–	–	400	200
	Число отказов Δm_j	0	1	3	6	25	51	87	99	61	40	23	2	2	–	–		
069, 269, 469, 669, 869	Время наблюдения t_{j_2} ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	–	–	–	–	–	–	120	70
	Число отказов Δm_j	0	3	7	23	33	29	20	2	3	–	–	–	–	–	–		
070, 270, 470, 670, 870	Время наблюдения t_{j_2} ч	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	–	–	–	300	140
	Число отказов Δm_j	0	1	3	12	29	56	70	78	36	11	3	1	–	–	–		
071, 271, 471, 671, 871	Время наблюдения t_{j_2} ч	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	–	–	–	–	900	50
	Число отказов Δm_j	433	231	110	71	25	15	8	3	2	1	1	–	–	–	–		
072, 272, 472, 672, 872	Время наблюдения t_{j_2} ч	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900	990	–	–	–	–	200	50
	Число отказов Δm_j	75	38	34	17	13	11	6	2	2	1	1	–	–	–	–		
073, 273, 473, 673, 873	Время наблюдения t_{j_2} ч	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	630	–	–	–	240	400
	Число отказов Δm_j	0	1	1	12	23	45	56	59	28	10	3	2	–	–	–		
074, 274, 474, 674, 874	Время наблюдения t_{j_2} ч	12	24	36	48	60	72	84	96	120	–	–	–	–	–	–	250	5
	Число отказов Δm_j	153	49	23	15	6	2	1	0	1	–	–	–	–	–	–		
075, 275, 475, 675, 875	Время наблюдения t_{j_2} ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	–	–	–	–	–	560	10
	Число отказов Δm_j	94	143	138	87	51	26	11	7	2	1	–	–	–	–	–		
076, 276, 476, 676, 876	Время наблюдения t_{j_2} ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	–	–	–	–	–	–	250	50
	Число отказов Δm_j	20	62	66	48	29	16	7	1	1	–	–	–	–	–	–		
077, 277, 477, 677, 877	Время наблюдения t_{j_2} ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	55	–	–	–	–	–	680	2
	Число отказов Δm_j	337	177	72	50	23	10	6	3	1	1	–	–	–	–	–		
078, 278, 478, 678, 878	Время наблюдения t_{j_2} ч	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	–	–	–	420	230
	Число отказов Δm_j	0	5	7	31	49	98	112	64	37	14	2	1	–	–	–		
079, 279, 479, 679, 879	Время наблюдения t_{j_2} ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	–	–	–	–	440	15
	Число отказов Δm_j	282	78	33	21	10	7	4	3	1	0	1	–	–	–	–		
080, 280, 480, 680, 880	Время наблюдения t_{j_2} ч	80	160	240	320	400	480	560	640	720	800	880	–	–	–	–	750	40
	Число отказов Δm_j	339	194	92	64	25	18	9	5	2	1	1	–	–	–	–		
081, 281, 481, 681, 881	Время наблюдения t_{j_2} ч	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	–	–	–	460	20
	Число отказов Δm_j	1	10	22	53	65	88	87	69	40	18	6	1	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
082, 282, 482, 682, 882	Время наблюдения t_{j_2} ч	10	20	30	40	50	60	70	80	100	–	–	–	–	–	–	260	2
	Число отказов Δm_j	160	50	26	15	6	0	2	0	1	–	–	–	–	–	–		
083, 283, 483, 683, 883	Время наблюдения t_{j_2} ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	–	–	–	–	–	760	25
	Число отказов Δm_j	375	191	85	62	21	11	8	4	2	1	–	–	–	–	–		
084, 284, 484, 684, 884	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	–	–	–	–	–	–	130	80
	Число отказов Δm_j	3	4	13	29	30	33	12	3	3	–	–	–	–	–	–		
085, 285, 485, 685, 885	Время наблюдения t_{j_2} ч	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	–	–	–	–	410	230
	Число отказов Δm_j	0	3	20	33	66	79	87	75	31	10	6	–	–	–	–		
086, 286, 486, 686, 886	Время наблюдения t_{j_2} ч	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	–	–	–	410	200
	Число отказов Δm_j	0	1	3	20	51	79	94	73	56	29	3	1	–	–	–		
087, 287, 487, 687, 887	Время наблюдения t_{j_2} ч	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	–	–	–	–	–	210	50
	Число отказов Δm_j	82	40	35	19	15	11	4	2	1	1	–	–	–	–	–		
088, 288, 488, 688, 888	Время наблюдения t_{j_2} ч	90	105	120	135	150	165	180	195	210	225	240	255	270	–	–	290	140
	Число отказов Δm_j	0	1	3	5	27	51	65	53	43	29	10	2	1	–	–		
089, 289, 489, 689, 889	Время наблюдения t_{j_2} ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	–	–	–	910	2
	Число отказов Δm_j	415	239	113	78	31	18	7	4	2	2	0	1	–	–	–		
090, 290, 490, 690, 890	Время наблюдения t_{j_2} ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	570	10
	Число отказов Δm_j	72	126	130	112	51	44	22	6	5	1	1	–	–	–	–		
091, 291, 491, 691, 891	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	–	–	–	–	–	–	260	30
	Число отказов Δm_j	15	62	68	54	30	22	6	2	1	–	–	–	–	–	–		
092, 292, 492, 692, 892	Время наблюдения t_{j_2} ч	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	–	–	–	–	–	250	400
	Число отказов Δm_j	0	4	13	35	56	56	53	24	7	2	–	–	–	–	–		
093, 293, 493, 693, 893	Время наблюдения t_{j_2} ч	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	–	–	–	–	430	10
	Число отказов Δm_j	281	75	30	21	10	7	3	1	1	0	1	–	–	–	–		
094, 294, 494, 694, 894	Время наблюдения t_{j_2} ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	320	–	–	–	–	–	670	10
	Число отказов Δm_j	333	174	76	48	21	9	5	2	1	1	–	–	–	–	–		
095, 295, 495, 695, 895	Время наблюдения t_{j_2} ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	450	20
	Число отказов Δm_j	2	13	32	57	82	99	75	49	28	11	2	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
096, 296, 496, 696, 896	Время наблюдения t_{j_2} ч	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	–	–	–	–	260	380
	Число отказов Δm_j	0	2	16	20	39	48	56	49	23	4	4	–	–	–	–		
097, 297, 497, 697, 897	Время наблюдения t_{j_2} ч	120	240	360	480	600	720	840	960	1080	1200	1320	–	–	–	–	770	50
	Число отказов Δm_j	384	204	78	59	22	11	8	2	1	0	1	–	–	–	–		
098, 298, 498, 698, 898	Время наблюдения t_{j_2} ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	580	10
	Число отказов Δm_j	52	117	120	109	80	50	26	15	8	2	1	–	–	–	–		
099, 299, 499, 699, 899	Время наблюдения t_{j_2} ч	150	300	450	600	750	900	1050	1200	1350	1500	1650	–	–	–	–	220	100
	Число отказов Δm_j	82	42	34	19	17	12	6	3	2	2	1	–	–	–	–		
100, 300, 500, 700, 900	Время наблюдения t_{j_2} ч	100	200	300	400	500	600	700	800	1000	–	–	–	–	–	–	270	50
	Число отказов Δm_j	161	57	26	14	8	2	1	0	1	–	–	–	–	–	–		
101, 301, 501, 701, 901	Время наблюдения t_{j_2} ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	–	–	–	–	–	270	25
	Число отказов Δm_j	13	45	62	71	42	19	15	2	0	1	–	–	–	–	–		
102, 302, 502, 702, 902	Время наблюдения t_{j_2} ч	55	110	165	220	275	330	385	440	495	550	–	–	–	–	–	420	25
	Число отказов Δm_j	281	70	29	19	10	7	1	1	0	2	–	–	–	–	–		
103, 303, 503, 703, 903	Время наблюдения t_{j_2} ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	91	98	105	920	2
	Число отказов Δm_j	356	215	139	72	64	30	18	11	5	3	3	2	1	0	1		
104, 304, 504, 704, 904	Время наблюдения t_{j_2} ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	–	–	–	–	140	75
	Число отказов Δm_j	0	2	6	19	30	30	31	13	7	1	1	–	–	–	–		
105, 305, 505, 705, 905	Время наблюдения t_{j_2} ч	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	–	–	–	400	270
	Число отказов Δm_j	0	1	0	1	17	44	75	108	84	49	18	3	–	–	–		
106, 306, 506, 706, 906	Время наблюдения t_{j_2} ч	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	280	300	–	–	–	280	150
	Число отказов Δm_j	0	3	6	24	46	58	61	49	23	5	4	1	–	–	–		
107, 307, 507, 707, 907	Время наблюдения t_{j_2} ч	125	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	–	–	–	420	220
	Число отказов Δm_j	0	1	4	29	49	90	108	78	39	18	3	1	–	–	–		
108, 308, 508, 708, 908	Время наблюдения t_{j_2} ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	–	–	–	–	440	20
	Число отказов Δm_j	3	12	41	60	81	104	68	42	20	7	2	–	–	–	–		
109, 309, 509, 709, 909	Время наблюдения t_{j_2} ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	–	–	–	–	660	5
	Число отказов Δm_j	322	167	79	48	22	10	7	3	1	0	1	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
110, 310, 510, 710, 910	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	–	–	–	–	590	15
	Число отказов Δm_j	42	107	122	119	85	52	35	17	8	2	1	–	–	–	–		
111, 311, 511, 711, 911	Время наблюдения t_{j_2} , ч	180	195	210	225	240	255	270	285	300	315	330	345	360	–	–	430	250
	Число отказов Δm_j	0	1	6	9	38	70	95	87	62	42	16	2	2	–	–		
112, 312, 512, 712, 912	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	–	–	930	5
	Число отказов Δm_j	414	234	123	73	44	19	10	6	3	2	1	0	1	–	–		
113, 313, 513, 713, 913	Время наблюдения t_{j_2} , ч	35	70	105	140	175	210	245	280	315	–	–	–	–	–	–	280	10
	Число отказов Δm_j	135	70	34	15	10	9	5	1	1	–	–	–	–	–	–		
114, 314, 514, 714, 914	Время наблюдения t_{j_2} , ч	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	450	480	–	–	–	390	250
	Число отказов Δm_j	0	1	4	17	35	81	84	93	52	17	4	2	–	–	–		
115, 315, 515, 715, 915	Время наблюдения t_{j_2} , ч	250	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	–	–	–	–	–	230	100
	Число отказов Δm_j	89	48	37	22	14	11	4	2	2	1	–	–	–	–	–		
116, 316, 516, 716, 916	Время наблюдения t_{j_2} , ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	–	–	–	–	–	290	5
	Число отказов Δm_j	130	74	33	18	17	7	5	3	0	3	–	–	–	–	–		
117, 317, 517, 717, 917	Время наблюдения t_{j_2} , ч	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	550	575	–	–	–	270	380
	Число отказов Δm_j	0	1	6	10	31	54	60	57	30	13	7	1	–	–	–		
118, 318, 518, 718, 918	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	430	20
	Число отказов Δm_j	3	12	35	58	77	91	72	41	25	13	3	–	–	–	–		
119, 319, 519, 719, 919	Время наблюдения t_{j_2} , ч	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	–	–	–	–	270	120
	Число отказов Δm_j	0	16	18	39	45	57	59	25	7	3	1	–	–	–	–		
120, 320, 520, 720, 920	Время наблюдения t_{j_2} , ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	180	–	–	–	–	650	5
	Число отказов Δm_j	310	169	71	50	26	12	7	2	1	1	1	–	–	–	–		
121, 321, 521, 721, 921	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	780	3
	Число отказов Δm_j	298	197	103	65	50	27	14	10	7	4	2	1	1	0	1		
122, 322, 522, 722, 922	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	–	–	–	–	–	–	150	70
	Число отказов Δm_j	2	7	29	33	33	37	6	2	1	–	–	–	–	–	–		
123, 323, 523, 723, 923	Время наблюдения t_{j_2} , ч	75	150	225	300	375	450	525	600	675	750	850	–	–	–	–	410	25
	Число отказов Δm_j	277	67	22	22	10	7	2	1	1	0	1	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
124, 324, 524, 724, 924	Время наблюдения t_{j_2} ч	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	99	–	–	–	–	600	20
	Число отказов Δm_j	38	108	133	124	90	55	32	14	4	1	1	–	–	–	–		
125, 325, 525, 725, 925	Время наблюдения t_{j_2} ч	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260	–	–	–	260	150
	Число отказов Δm_j	0	1	2	3	9	32	54	61	51	28	10	9	–	–	–		
126, 326, 526, 726, 926	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	–	–	–	–	–	160	80
	Число отказов Δm_j	0	4	14	33	40	37	24	4	3	1	–	–	–	–	–		
127, 327, 527, 727, 927	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	–	–	–	–	–	–	300	5
	Число отказов Δm_j	162	67	31	18	8	9	3	0	2	–	–	–	–	–	–		
128, 328, 528, 728, 928	Время наблюдения t_{j_2} ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	–	–	–	–	–	240	20
	Число отказов Δm_j	93	51	40	23	14	10	4	2	2	1	–	–	–	–	–		
129, 329, 529, 729, 929	Время наблюдения t_{j_2} ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	–	–	–	–	–	280	25
	Число отказов Δm_j	10	31	47	62	54	38	20	13	4	1	–	–	–	–	–		
130, 330, 530, 730, 930	Время наблюдения t_{j_2} ч	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	600	–	–	–	280	380
	Число отказов Δm_j	0	1	1	12	31	66	83	57	22	5	1	1	–	–	–		
131, 331, 531, 731, 931	Время наблюдения t_{j_2} ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	940	2
	Число отказов Δm_j	363	232	135	77	60	31	16	12	5	3	2	2	1	0	1		
132, 332, 532, 732, 932	Время наблюдения t_{j_2} ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	–	–	–	–	400	10
	Число отказов Δm_j	192	107	42	25	14	9	7	2	1	0	1	–	–	–	–		
133, 333, 533, 733, 933	Время наблюдения t_{j_2} ч	150	175	200	225	250	275	300	325	350	375	400	425	–	–	–	440	215
	Число отказов Δm_j	0	5	8	31	52	102	115	66	43	15	2	1	–	–	–		
134, 334, 534, 734, 934	Время наблюдения t_{j_2} ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	–	–	–	–	440	5
	Число отказов Δm_j	181	121	57	34	21	11	7	4	2	1	1	–	–	–	–		
135, 335, 535, 735, 935	Время наблюдения t_{j_2} ч	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	–	–	–	380	290
	Число отказов Δm_j	0	1	6	14	40	83	82	82	44	22	3	3	–	–	–		
136, 336, 536, 736, 936	Время наблюдения t_{j_2} ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180	–	–	–	790	5
	Число отказов Δm_j	349	197	99	64	41	17	10	8	3	1	0	1	–	–	–		
137, 337, 537, 737, 937	Время наблюдения t_{j_2} ч	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	72	–	–	–	420	15
	Число отказов Δm_j	3	12	31	51	72	81	74	44	28	19	3	2	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
138, 338, 538, 738, 938	Время наблюдения t_{j_2} , ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	–	–	–	–	–	–	310	15
	Число отказов Δm_j	164	74	32	16	10	7	5	0	2	–	–	–	–	–	–		
139, 339, 539, 739, 939	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	–	–	–	–	–	170	100
	Число отказов Δm_j	5	6	25	38	36	32	20	6	0	2	–	–	–	–	–		
140, 340, 540, 740, 940	Время наблюдения t_{j_2} , ч	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	–	–	–	–	–	350	10
	Число отказов Δm_j	147	102	43	21	14	9	7	5	0	2	–	–	–	–	–		
141, 341, 541, 741, 941	Время наблюдения t_{j_2} , ч	180	200	220	240	260	280	300	320	340	360	380	–	–	–	–	450	250
	Число отказов Δm_j	0	2	4	26	76	108	117	84	27	5	1	–	–	–	–		
142, 342, 542, 742, 942	Время наблюдения t_{j_2} , ч	220	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	–	–	–	370	290
	Число отказов Δm_j	0	2	3	10	19	66	82	90	55	27	13	3	–	–	–		
143, 343, 543, 743, 943	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	–	–	–	–	250	30
	Число отказов Δm_j	92	51	39	24	18	12	7	3	2	1	1	–	–	–	–		
144, 344, 544, 744, 944	Время наблюдения t_{j_2} , ч	270	300	330	360	390	420	450	480	510	540	570	–	–	–	–	290	350
	Число отказов Δm_j	0	1	6	15	37	79	88	41	17	5	1	–	–	–	–		
145, 345, 545, 745, 945	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	350	10
	Число отказов Δm_j	17	41	59	81	62	42	21	13	11	2	1	–	–	–	–		
146, 346, 546, 746, 946	Время наблюдения t_{j_2} , ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	–	–	–	–	–	–	290	25
	Число отказов Δm_j	11	33	54	67	54	36	24	8	3	–	–	–	–	–	–		
147, 347, 547, 747, 947	Время наблюдения t_{j_2} , ч	40	80	120	160	200	240	280	320	360	400	–	–	–	–	–	390	5
	Число отказов Δm_j	208	93	41	21	11	8	5	2	0	1	–	–	–	–	–		
148, 348, 548, 748, 948	Время наблюдения t_{j_2} , ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	–	–	–	–	430	4
	Число отказов Δm_j	161	119	63	33	21	13	9	6	3	0	2	–	–	–	–		
149, 349, 549, 749, 949	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	420	–	800	10
	Число отказов Δm_j	351	202	100	66	41	16	10	8	3	1	0	1	0	1	–		
150, 350, 550, 750, 950	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	–	–	–	–	250	100
	Число отказов Δm_j	2	5	5	29	51	59	50	29	14	4	2	–	–	–	–		
151, 351, 551, 751, 951	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	–	–	–	–	–	410	15
	Число отказов Δm_j	4	19	55	67	97	81	37	32	15	3	–	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
152, 352, 552, 752, 952	Время наблюдения t_{j_2} , ч	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	–	–	–	–	–	300	360
	Число отказов Δm_j	0	6	12	33	70	73	53	37	13	3	–	–	–	–	–		
153, 353, 553, 753, 953	Время наблюдения t_{j_2} , ч	13	26	39	52	65	78	91	104	117	130	143	–	–	–	–	320	5
	Число отказов Δm_j	150	87	39	14	12	7	6	3	1	0	1	–	–	–	–		
154, 354, 554, 754, 954	Время наблюдения t_{j_2} , ч	180	210	240	270	300	330	360	390	420	–	–	–	–	–	–	100	250
	Число отказов Δm_j	0	3	6	16	26	27	15	5	2	–	–	–	–	–	–		
155, 355, 555, 755, 955	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	–	–	–	–	–	360	10
	Число отказов Δm_j	15	41	56	80	70	47	26	15	8	2	–	–	–	–	–		
156, 356, 556, 756, 956	Время наблюдения t_{j_2} , ч	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	720	780	–	–	810	20
	Число отказов Δm_j	355	203	100	69	40	16	11	9	3	2	1	0	1	–	–		
157, 357, 557, 757, 957	Время наблюдения t_{j_2} , ч	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	660	–	–	–	–	380	25
	Число отказов Δm_j	186	94	44	20	15	9	6	3	2	0	1	–	–	–	–		
158, 358, 558, 758, 958	Время наблюдения t_{j_2} , ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	–	–	–	–	–	180	90
	Число отказов Δm_j	1	3	11	21	39	50	31	20	3	1	–	–	–	–	–		
159, 359, 559, 759, 959	Время наблюдения t_{j_2} , ч	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	–	–	–	–	–	360	5
	Число отказов Δm_j	141	102	50	26	16	9	7	6	2	1	–	–	–	–	–		
160, 360, 560, 760, 960	Время наблюдения t_{j_2} , ч	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	–	–	–	–	–	190	300
	Число отказов Δm_j	0	1	3	17	38	47	46	28	8	2	–	–	–	–	–		
161, 361, 561, 761, 961	Время наблюдения t_{j_2} , ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	420	2
	Число отказов Δm_j	122	90	76	47	26	19	12	9	7	5	3	2	1	0	1		
162, 362, 562, 762, 962	Время наблюдения t_{j_2} , ч	60	120	180	240	300	360	420	480	540	600	–	–	–	–	–	260	30
	Число отказов Δm_j	100	51	44	27	15	11	6	3	2	1	–	–	–	–	–		
163, 363, 563, 763, 963	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	400	20
	Число отказов Δm_j	4	19	53	60	85	79	47	30	18	3	2	–	–	–	–		
164, 364, 564, 764, 964	Время наблюдения t_{j_2} , ч	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	–	–	–	–	–	240	110
	Число отказов Δm_j	0	2	4	22	60	80	50	19	2	1	–	–	–	–	–		
165, 365, 565, 765, 965	Время наблюдения t_{j_2} , ч	240	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	–	–	–	360	310
	Число отказов Δm_j	0	4	10	16	36	66	80	78	50	12	6	2	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
166, 366, 566, 766, 966	Время наблюдения t_{j_2} , ч	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	–	–	–	–	160	250
	Число отказов Δm_j	0	1	2	2	22	45	41	39	7	0	1	–	–	–	–		
167, 367, 567, 767, 967	Время наблюдения t_{j_2} , ч	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	–	–	–	370	10
	Число отказов Δm_j	137	104	54	29	15	12	9	5	2	2	0	1	–	–	–		
168, 368, 568, 768, 968	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	–	–	–	–	370	10
	Число отказов Δm_j	10	31	59	64	87	52	28	21	14	2	2	–	–	–	–		
169, 369, 569, 769, 969	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	–	–	–	–	–	–	190	100
	Число отказов Δm_j	2	3	13	35	62	45	22	7	1	–	–	–	–	–	–		
170, 370, 570, 770, 970	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	–	–	–	–	–	–	270	20
	Число отказов Δm_j	135	67	29	17	11	6	3	1	1	–	–	–	–	–	–		
171, 371, 571, 771, 971	Время наблюдения t_{j_2} , ч	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	–	–	–	350	310
	Число отказов Δm_j	0	5	8	29	62	73	75	54	31	6	6	1	–	–	–		
172, 372, 572, 772, 972	Время наблюдения t_{j_2} , ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	–	–	–	–	390	20
	Число отказов Δm_j	5	24	58	60	92	65	39	28	15	2	2	–	–	–	–		
173, 373, 573, 773, 973	Время наблюдения t_{j_2} , ч	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	–	–	–	–	180	250
	Число отказов Δm_j	0	1	2	3	25	51	46	43	7	1	1	–	–	–	–		
174, 374, 574, 774, 974	Время наблюдения t_{j_2} , ч	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	–	–	–	–	–	310	360
	Число отказов Δm_j	0	6	18	47	84	74	56	18	6	1	–	–	–	–	–		
175, 375, 575, 775, 975	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	–	–	–	–	330	5
	Число отказов Δm_j	149	91	39	17	14	7	5	5	2	0	1	–	–	–	–		
176, 376, 576, 776, 976	Время наблюдения t_{j_2} , ч	7	14	21	28	35	42	49	56	63	70	77	84	–	–	–	820	2
	Число отказов Δm_j	376	205	98	76	27	19	7	7	2	2	0	1	–	–	–		
177, 377, 577, 777, 977	Время наблюдения t_{j_2} , ч	160	320	480	640	800	960	1120	1280	1440	1640	–	–	–	–	–	370	50
	Число отказов Δm_j	203	86	36	17	10	9	5	2	1	1	–	–	–	–	–		
178, 378, 578, 778, 978	Время наблюдения t_{j_2} , ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	–	–	–	–	230	100
	Число отказов Δm_j	1	4	11	35	46	52	52	22	4	2	1	–	–	–	–		
179, 379, 579, 779, 979	Время наблюдения t_{j_2} , ч	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60	66	–	–	–	–	410	2
	Число отказов Δm_j	153	112	62	29	21	13	10	6	2	0	2	–	–	–	–		

Продолжение табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
180, 380, 580, 780, 980	Время наблюдения t_{j_2} ч	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	–	–	380	10
	Число отказов Δm_j	131	102	57	32	18	14	9	6	5	3	2	0	1	–	–		
181, 381, 581, 781, 981	Время наблюдения t_{j_2} ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	–	–	–	–	–	380	25
	Число отказов Δm_j	8	34	67	76	86	53	29	17	7	3	–	–	–	–	–		
182, 382, 582, 782, 982	Время наблюдения t_{j_2} ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	–	–	–	830	2
	Число отказов Δm_j	381	216	98	72	26	19	8	5	2	2	0	1	–	–	–		
183, 383, 583, 783, 983	Время наблюдения t_{j_2} ч	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	132	–	–	–	–	300	30
	Число отказов Δm_j	7	16	43	53	55	52	34	24	11	3	2	–	–	–	–		
184, 384, 584, 784, 984	Время наблюдения t_{j_2} ч	90	180	270	360	450	540	630	720	810	900	990	–	–	–	–	280	20
	Число отказов Δm_j	119	74	32	19	14	9	6	4	2	0	1	–	–	–	–		
185, 385, 585, 785, 985	Время наблюдения t_{j_2} ч	11	22	33	44	55	66	77	88	99	110	–	–	–	–	–	360	2
	Число отказов Δm_j	196	82	37	16	12	7	6	2	0	2	–	–	–	–	–		
186, 386, 586, 786, 986	Время наблюдения t_{j_2} ч	260	280	300	320	340	360	380	400	420	440	460	480	500	–	–	340	310
	Число отказов Δm_j	0	2	7	22	46	55	69	61	50	18	5	4	1	–	–		
187, 387, 587, 787, 987	Время наблюдения t_{j_2} ч	9	18	27	36	45	54	63	72	81	90	–	–	–	–	–	340	2
	Число отказов Δm_j	158	96	40	15	14	8	5	2	0	2	–	–	–	–	–		
188, 388, 588, 788, 988	Время наблюдения t_{j_2} ч	12	24	36	48	60	72	84	96	108	120	–	–	–	–	–	320	25
	Число отказов Δm_j	6	17	43	60	67	61	32	21	11	2	–	–	–	–	–		
189, 389, 589, 789, 989	Время наблюдения t_{j_2} ч	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	–	–	–	–	–	220	110
	Число отказов Δm_j	0	2	11	25	44	62	40	27	8	1	–	–	–	–	–		
190, 390, 590, 790, 990	Время наблюдения t_{j_2} ч	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	–	–	–	–	320	330
	Число отказов Δm_j	0	3	15	32	58	88	57	43	18	5	1	–	–	–	–		
191, 391, 591, 791, 991	Время наблюдения t_{j_2} ч	175	210	245	280	315	350	385	420	455	490	–	–	–	–	–	170	300
	Число отказов Δm_j	0	1	3	15	36	43	40	24	6	2	–	–	–	–	–		
192, 392, 592, 792, 992	Время наблюдения t_{j_2} ч	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	60	–	–	–	–	400	2
	Число отказов Δm_j	140	111	59	33	20	15	10	7	3	1	1	–	–	–	–		
193, 393, 593, 793, 993	Время наблюдения t_{j_2} ч	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	–	–	–	–	200	105
	Число отказов Δm_j	0	1	0	13	33	55	51	35	11	0	1	–	–	–	–		

Окончание табл. 3

Вариант задания	Номер наблюдения	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	t_*
194, 394, 594, 794, 994	Время наблюдения t_{ij} , ч	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	–	–	–	330	330
	Число отказов Δm_i	0	1	9	15	45	71	87	65	27	6	3	1	–	–	–		
195, 395, 595, 795, 995	Время наблюдения t_{ij} , ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	112	–	–	840	2
	Число отказов Δm_i	353	216	101	69	52	17	14	8	5	2	1	1	1	–	–		
196, 396, 596, 796, 996	Время наблюдения t_{ij} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	–	–	–	390	4
	Число отказов Δm_i	143	108	58	31	18	12	9	5	3	2	0	1	–	–	–		
197, 397, 597, 797, 997	Время наблюдения t_{ij} , ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	–	–	–	–	210	120
	Число отказов Δm_i	0	2	10	12	32	43	50	37	16	4	4	–	–	–	–		
198, 398, 598, 798, 998	Время наблюдения t_{ij} , ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	–	–	–	–	–	350	2
	Число отказов Δm_i	165	97	42	17	12	7	6	2	1	1	–	–	–	–	–		
199, 399, 599, 799, 999	Время наблюдения t_{ij} , ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	–	–	–	–	290	20
	Число отказов Δm_i	118	71	34	27	15	10	7	4	2	1	1	–	–	–	–		
200, 400, 600, 800, 000	Время наблюдения t_{ij} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	–	–	–	–	330	25
	Число отказов Δm_i	6	12	33	49	62	79	46	23	13	5	2	–	–	–	–		

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ СЕМЕСТРОВОЙ РАБОТЫ

Задание 1

Для построения графиков необходимо таблицу задания привести к следующему виду (вариационному ряду):

$t_{j-1}; t_j$	$t_0; t_1$	$t_1; t_2$	$\dots$	$t_{k-1}; t_k$
Δm_j	Δm_1	Δm_2	$\dots$	Δm_k
q_j^*	q_1^*	q_2^*	$\dots$	q_k^*

Здесь t_{j-1} и t_j – соответственно левая и правая границы j -го интервала, $q_j^* = \frac{\Delta m_j}{n}$ – относительная частота отказов в j -м интервале (n – число испытываемых объектов).

Статистическую функцию распределения наработки строят на основании данных вариационного ряда по точкам, находящимся на границах интервалов этого ряда:

$$\hat{F}(t_0) = 0; \hat{F}(t_1) = q_1^*; \hat{F}(t_2) = q_1^* + q_2^*; \dots; \hat{F}(t_k) = 1.$$

Затем эти точки соединяют отрезками прямых (см. пример на рис. 1).

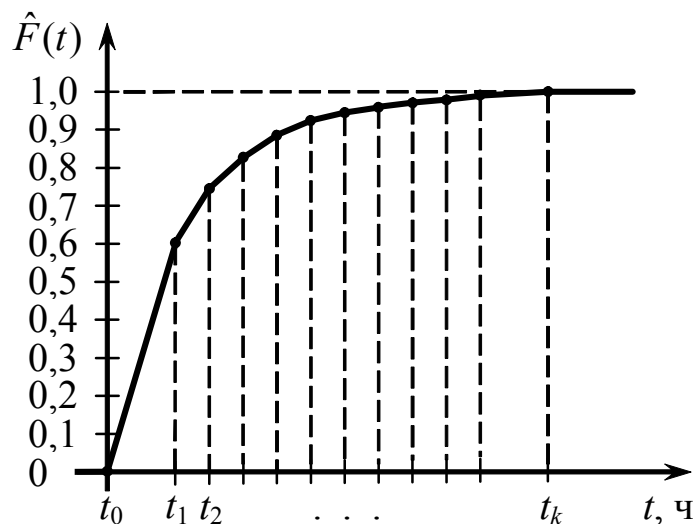


Рис. 1. График статистической функции распределения наработки

При построении статистической функции надежности определяют значения функции надежности на границах интервалов ряда:

$$\hat{R}(t_0) = 1; \hat{R}(t_1) = 1 - q_1^*; \hat{R}(t_2) = 1 - (q_1^* + q_2^*); \dots; \hat{R}(t_k) = 0,$$

после чего эти значения откладывают в виде точек на графике, и точки соединяют отрезками прямых (пример на рис. 2).

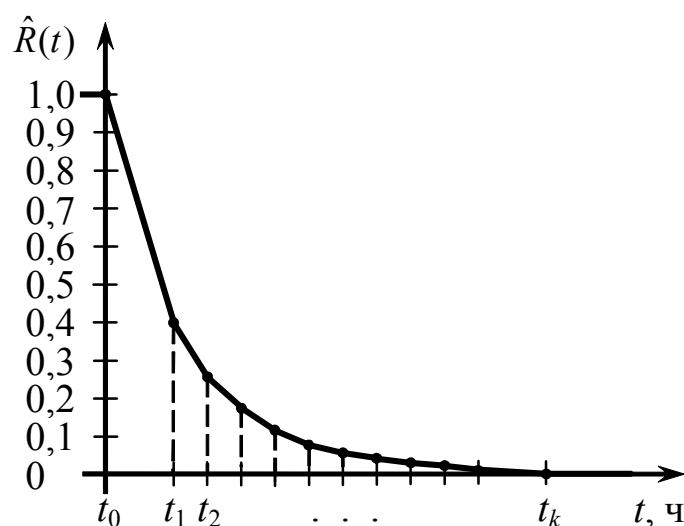


Рис. 2. График статистической функции надежности

Гистограмма представляет собой статистический график плотности распределения наработки и поэтому строится как производная от графика функции распределения. Поскольку на протяжении каждого интервала вариационного ряда производная функции распределения имеет постоянную величину, гистограмма представляет собой совокупность горизонтальных отрезков с длинами, равными длинам соответствующих интервалов вариационного ряда. Высота расположения j -го отрезка определяется по формуле

$$\hat{f}(t_{j-1}; t_j) = \frac{q_j^*}{\Delta t_j} = \frac{\Delta m_j}{\Delta t_j n},$$

где $\Delta t_j = t_j - t_{j-1}$ — величина j -го интервала. Для того чтобы указать местоположение отрезков относительно оси абсцисс, от концов отрезков до оси абсцисс проводят вертикальные линии. Поэтому гистограмма принимает вид совокупности прямоугольников с основаниями Δt_j и высотами $\hat{f}(t_{j-1}; t_j)$. Примерный вид гистограммы наработки представлен на рис. 3.

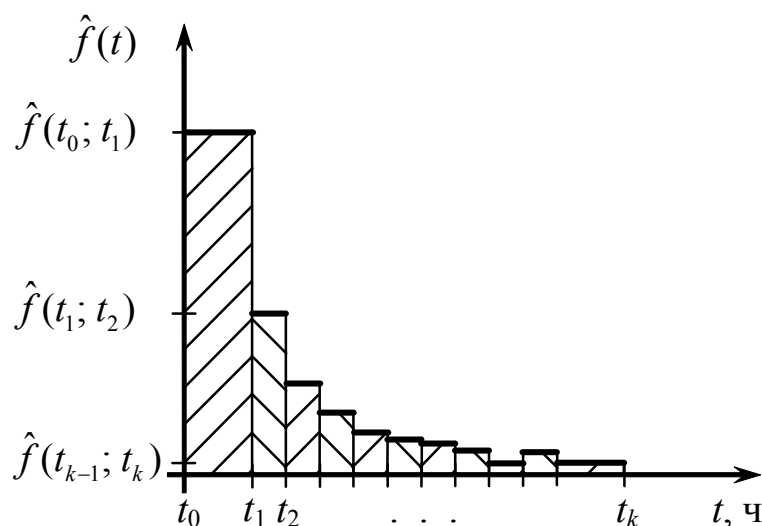


Рис. 3. Гистограмма распределения наработки

Для построения графика статистической зависимости интенсивности отказов от времени в середине $\bar{t}_j = \frac{t_{j-1} + t_j}{2}$ каждого интервала Δt_j определяется значение интенсивности отказов по формулам

$$\hat{\lambda}(\bar{t}_1) = \frac{\Delta m_1}{\Delta t_1 \cdot \left(n - \frac{\Delta m_1}{2} \right)},$$

$$\hat{\lambda}(\bar{t}_2) = \frac{\Delta m_2}{\Delta t_2 \cdot \left(n - \Delta m_1 - \frac{\Delta m_2}{2} \right)},$$

$$\hat{\lambda}(\bar{t}_3) = \frac{\Delta m_3}{\Delta t_3 \cdot \left(n - \Delta m_1 - \Delta m_2 - \frac{\Delta m_3}{2} \right)},$$

$$\hat{\lambda}(\bar{t}_k) = \frac{\Delta m_k}{\Delta t_k \cdot \left(n - \Delta m_1 - \Delta m_2 - \dots - \Delta m_{k-1} - \frac{\Delta m_k}{2} \right)}.$$

Полученные значения $\hat{\lambda}(\bar{t}_j)$ на графике изображают соединенными отрезками прямых точками на серединах соответствующих интервалов (рис. 4).

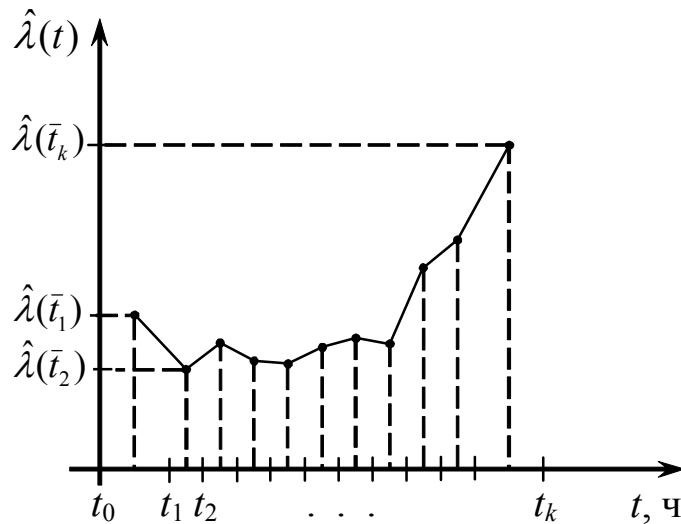


Рис. 4. График статистической функции интенсивности отказов

Задание 2

О законе распределения наработки можно судить по виду статистической функции распределения случайной величины, гистограммы (статистической плотности распределения), статистической функции надежности или статистической функции интенсивности отказов. Для выбора наиболее подходящей модели распределения наработки предлагается три закона распределения случайной величины: экспоненциальный, нормальный и Вейбулла.

В случае экспоненциального распределения наработки функция распределения определяется зависимостью $F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$, где λ – интенсивность отказов объекта (параметр данного распределения). Общий вид графика функции распределения наработки для этого случая представлен на рис. 5.

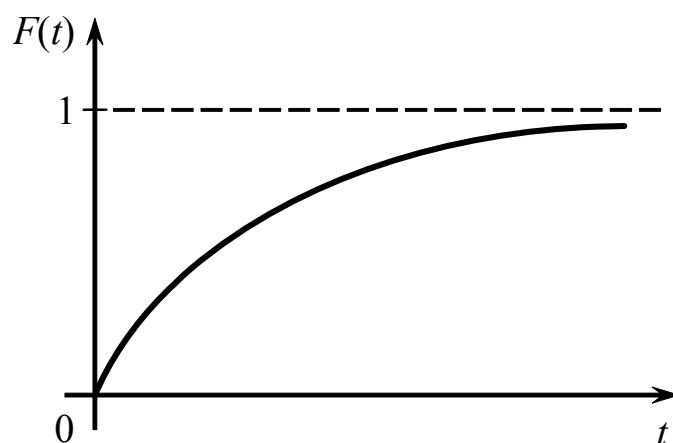


Рис. 5. Функция экспоненциального распределения наработки

Функция надежности при экспоненциальном распределении (рис. 6)
 $R(t) = e^{-\lambda t}$.

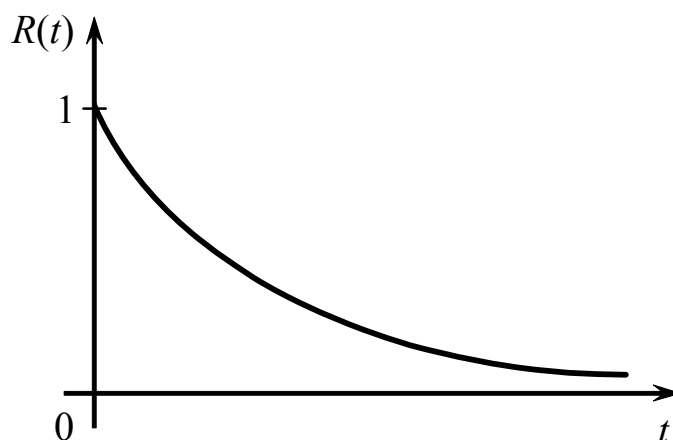


Рис. 6. Функция надежности для случая экспоненциального распределения

Плотность распределения наработки при экспоненциальном законе $f(t) = \lambda e^{-\lambda t}$. График плотности распределения наработки для случая экспоненциального распределения представлен на рис. 7.

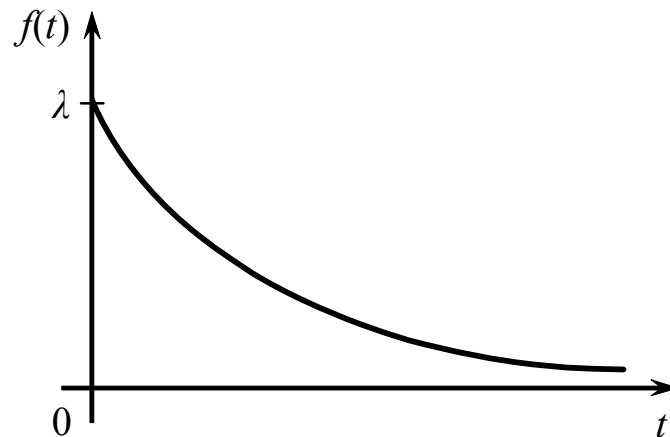


Рис. 7. Плотность экспоненциального распределения наработки

Интенсивность отказов в случае экспоненциального распределения является постоянной величиной: $\lambda(t) = \lambda$. Поэтому графиком интенсивности отказов является горизонтальная линия (рис. 8).

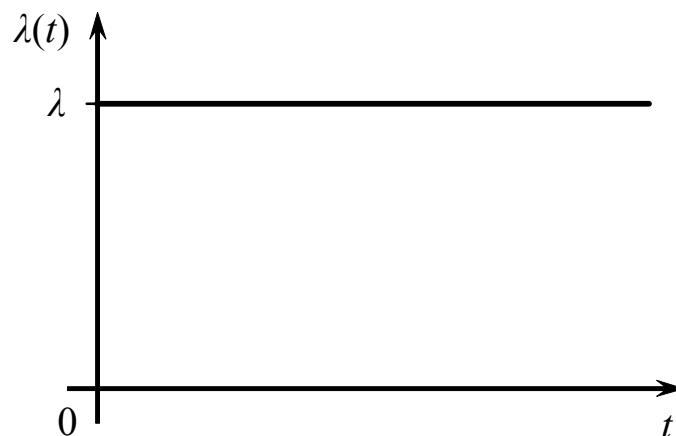


Рис. 8. Интенсивность отказов при экспоненциальном распределении наработки

Функция нормального распределения наработки выражается интегралом $F(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma_t^2}} dt$. Этот интеграл можно определить с помощью таблиц функции централизованного нормированного нормального распределения $\Phi_0(z)$ (табл. П.1 приложения) по формуле $F(t) = \Phi_0\left(\frac{t-T_0}{\sigma_t}\right)$. Здесь параметры T_0 и σ_t – соответственно среднее значение и среднеквадратическое отклонение наработки. Общий вид графика функции распределения наработки при нормальном распределении представлен на рис. 9.

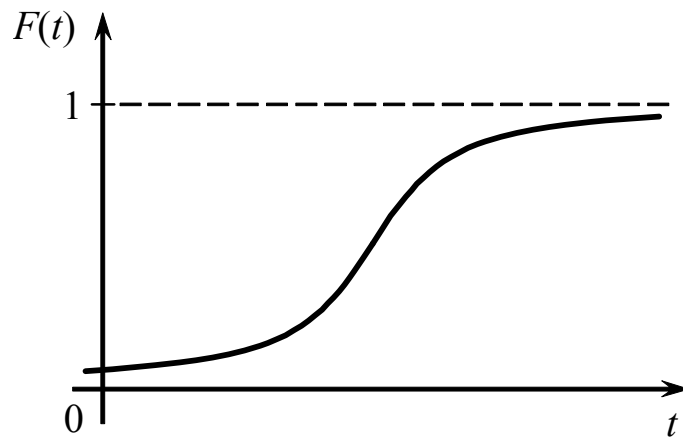


Рис. 9. Функция нормального распределения наработки

Функция надежности (рис. 10) $R(t) = 1 - \Phi_0\left(\frac{t - T_0}{\sigma_t}\right) = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right)$. Ее

значения также находят с помощью таблиц функции нормированного нормального распределения $\Phi_0(z)$. Наиболее удобно использовать формулу

$$R(t) = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right).$$

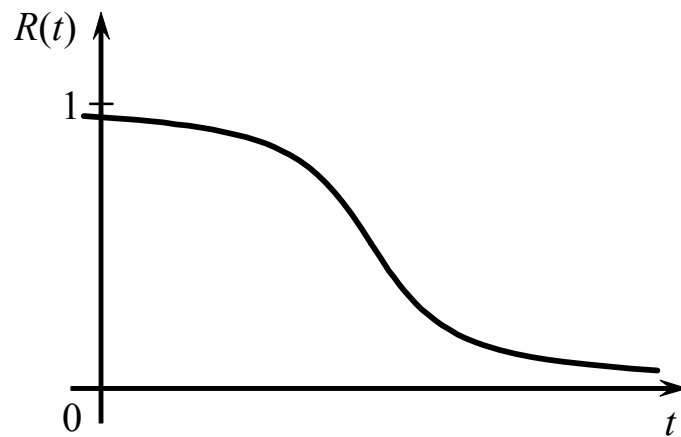


Рис. 10. Функция надежности для случая нормального распределения наработки

Плотность нормального распределения определяется зависимостью

$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma_t^2}}$. Графическое изображение этой зависимости представлено на рис. 11.

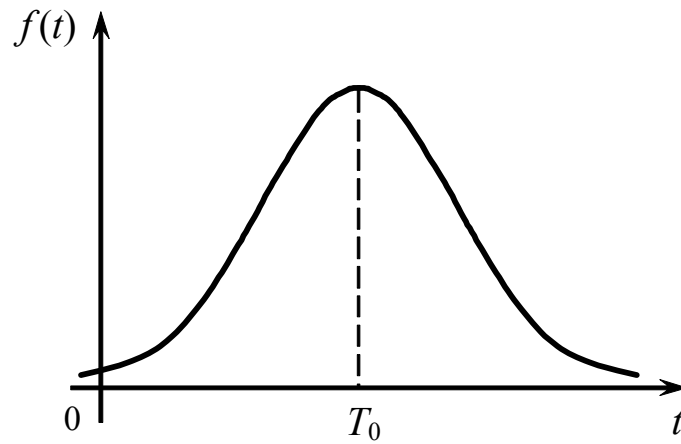


Рис. 11. Плотность нормального распределения наработки

Интенсивность отказов для нормального распределения тоже определяют с помощью таблиц:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{\frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma_t^2}}}{\Phi_0\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right)}.$$

На рис. 12 приведен пример зависимости интенсивности отказов от времени для случая нормального распределения наработки.

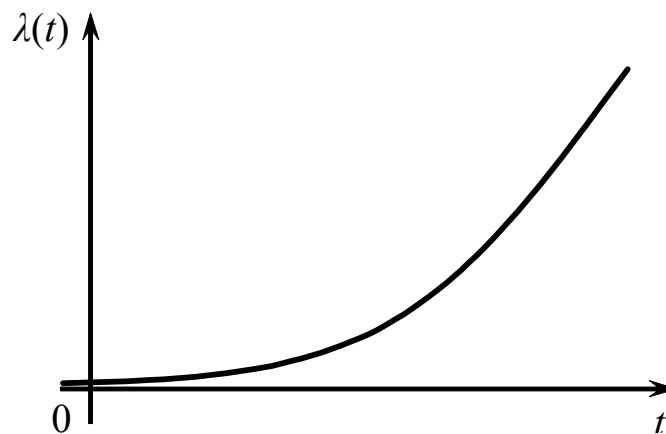


Рис. 12. Интенсивность отказов для случая нормального распределения наработки

Вид графиков при распределении Вейбулла зависит от параметров распределения η и μ , из которых η определяет форму, а μ – масштаб графиков.

Функция распределения наработки выражается зависимостью $F(t) = 1 - e^{-\mu t^\eta}$. Графики функции распределения Вейбулла при различных значениях параметра формы η представлены на рис. 13.

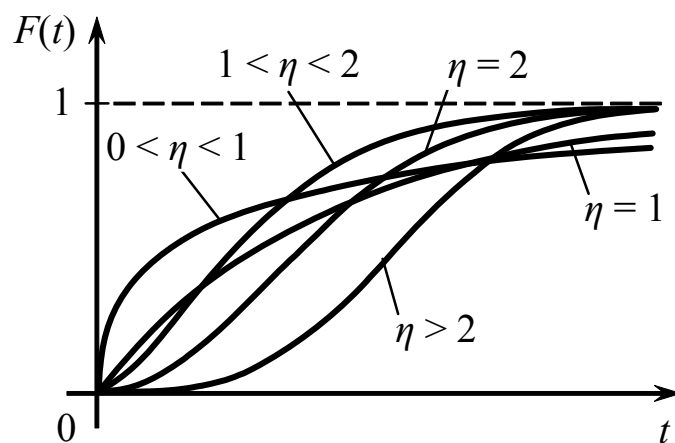


Рис. 13. Функция распределения наработки в случае распределения Вейбулла

Функция надежности при распределении Вейбулла имеет вид: $R(t) = e^{-\mu t^\eta}$. Графики функции надежности при различных значениях параметра формы η представлены на рис. 14.

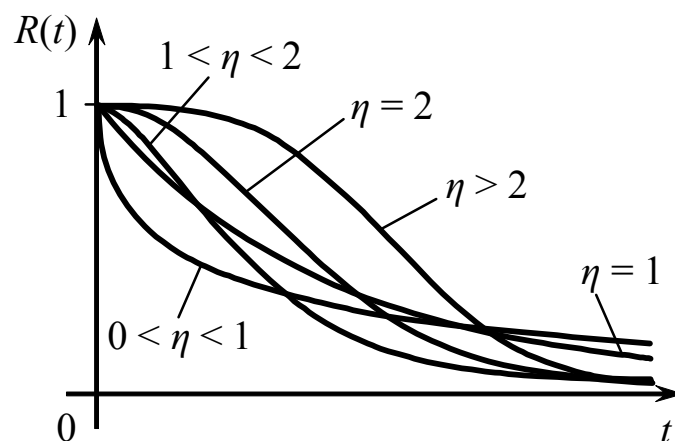


Рис. 14. Функция надежности в случае распределения Вейбулла

Плотность распределения наработки (рис. 15) в случае распределения Вейбулла $f(t) = \mu \eta t^{\eta-1} e^{-\mu t^\eta}$.

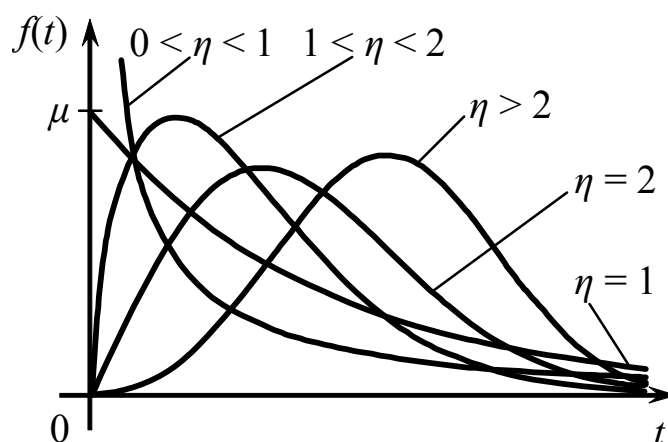


Рис. 15. Плотность распределения Вейбулла

Интенсивность отказов при распределении Вейбулла $\lambda(t) = \mu\eta t^{\eta-1}$. На рис. 16 приведены зависимости интенсивности отказов от времени при различных значениях параметра формы η .

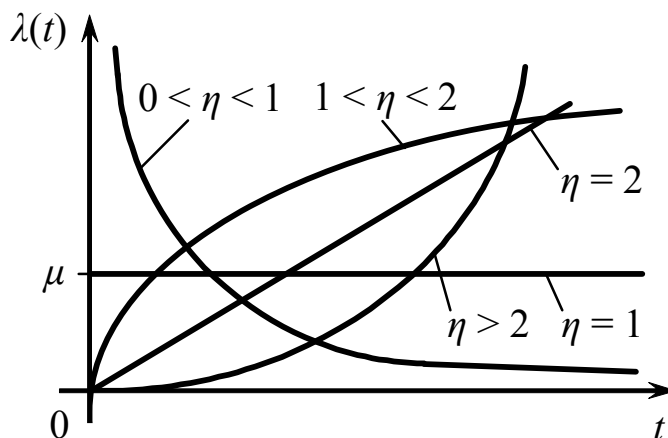


Рис. 16. Интенсивность отказов в случае распределения Вейбулла

Экспоненциальное распределение и распределение Вейбулла при $\eta = 1$ описывает наработку объекта на этапе нормальной эксплуатации, а распределение Вейбулла в случае $\eta < 1$ – наработку на этапе приработки. Эти распределения являются антимодальными: графики их плотности не имеют экстремума. Поэтому если гистограмма, полученная в результате обработки экспериментальных данных, имеет вид уменьшающихся по высоте прямоугольников, возможно, что наработка подчиняется одному из этих распределений. В этом случае следует рассмотреть как гипотезу о принадлежности наработки экспоненциальному распределению, так и гипотезу принадлежности ее распределению Вейбулла.

Плотность нормального распределения и плотность распределения Вейбулла при $\eta > 1$ имеют по одному экстремуму, то есть, являются одномодальными. Такие распределения описывают наработку на этапе старения и носят название “стареющих” распределений. Если прямоугольники полученной гистограммы сначала по высоте увеличиваются, а затем уменьшаются, необходимо рассмотреть гипотезы о принадлежности наработки нормальному распределению и распределению Вейбулла.

Существенную помощь при выборе закона распределения может оказать статистический график интенсивности отказов. В случае экспоненциального распределения и распределения Вейбулла при $\eta = 1$ интенсивность отказов постоянна. При распределении Вейбулла в случае $\eta < 1$ график интенсивности постепенно снижается, а в случае $\eta > 1$ – возрастает. Соответствующим образом ведут себя и статистические графики интенсивности отказов.

После выдвижения гипотез о том, что к данной случайной величине наиболее подходит тот или иной закон распределения, необходимо определить параметры выбранных распределений.

Для нахождения параметров рекомендуется использовать метод моментов, который заключается в следующем. На основе экспериментальных данных определяются статистические оценки моментов случайной величины (математического ожидания, дисперсии и т. д.), причем число определяемых моментов должно соответствовать числу неизвестных параметров выбранного распределения. Затем делают допущение равенства неизвестных параметров их статистическим оценкам. Из этих равенств составляют системы уравнений, которые решают относительно неизвестных параметров. Полученные в результате решения значения являются статистическими оценками параметров выбранного распределения. Эти оценки и используются в качестве соответствующих параметров в уравнениях, описывающих выбранное распределение.

Экспоненциальное распределение имеет один параметр – интенсивность отказов λ . Поэтому для определения величины λ достаточно вычислить статистическую оценку простейшего из моментов – математического ожидания наработки, которое в теории надежности носит название средней наработки. Оценку средней наработки можно определить на основе данных вариационного ряда по формуле $\hat{T}_0 = \sum_{j=1}^k q_j^* \bar{t}_j$. Средняя наработка и интенсивность отказов в случае экспоненциального распределения связаны соотношением $T_0 = \frac{1}{\lambda}$. Таким же образом, при использовании метода моментов, связывают и оценки этих показателей: $\hat{T}_0 = \frac{1}{\hat{\lambda}}$. Отсюда оценка интенсивности отказов $\hat{\lambda} = \frac{1}{\hat{T}_0}$.

Нормальное распределение и распределение Вейбулла являются двухпараметрическими распределениями. Параметрами нормального распределения являются средняя наработка (математическое ожидание наработки) T_0 и среднеквадратическое отклонение σ_t . Для их вычисления определяют статистические оценки средней наработки и дисперсии наработки объекта: $\hat{T}_0 = \sum_{j=1}^k q_j^* \bar{t}_j$, $\hat{D}_t = \frac{n}{n-1} \cdot \left[\sum_{j=1}^k \bar{t}_j^2 q_j^* - \hat{T}_0^2 \right]$. Показатель $\hat{T}_0$ является искомой оценкой средней наработки, а оценка среднеквадратического отклонения находится по формуле $\hat{\sigma}_t = \sqrt{\hat{D}_t}$.

Параметрами распределения Вейбулла являются параметр формы η и параметр масштаба μ . Для определения параметров распределения Вейбулла используют их связь со средней наработкой и дисперсией наработки:

$$T_0 = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{\eta\sqrt{\mu}}, \quad D_t = \frac{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\eta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{\eta\sqrt{\mu^2}}.$$

Коэффициент вариации в случае распределения Вейбулла

$$\nu_t = \frac{\sqrt{D_t}}{T_0} = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\eta}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}.$$

Значения гамма-функции $\Gamma(x)$ находят с помощью таблиц (табл. П.3).

При использовании метода моментов приравнивают статистическое значение коэффициента вариации $\hat{\nu}_t$ его точному значению ν_t , по таблице зависимости $\nu(\eta)$ для распределения Вейбулла (табл. П.5) находят значение параметра формы $\hat{\eta}$, соответствующее полученному значению $\hat{\nu}_t$, а затем определяют значение коэффициента масштаба с помощью формулы

$$\hat{\mu} = \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\hat{\eta}}\right)}{\hat{T}_0} \right)^{\hat{\eta}}.$$

Подставляя полученные параметры в формулы временных зависимостей для соответствующих законов распределений, необходимо на построенные статистические графики нанести соответствующие вероятностные зависимости (примеры для случая гипотезы об экспоненциальном распределении наработки приведены на рис. 17 – 20).

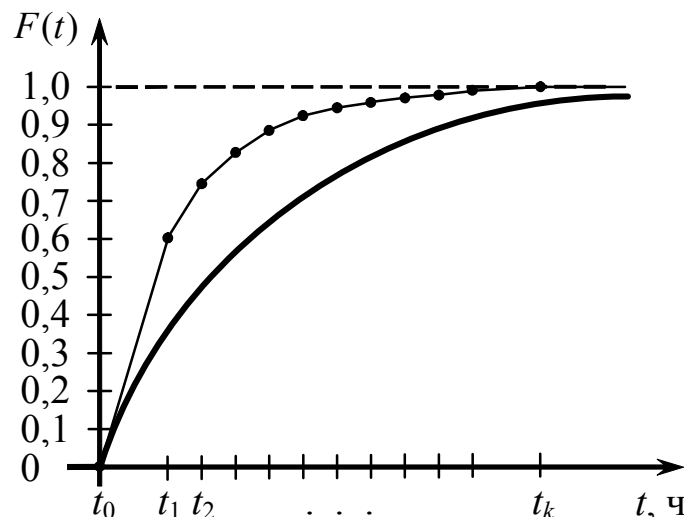


Рис. 17. График функции распределения наработки

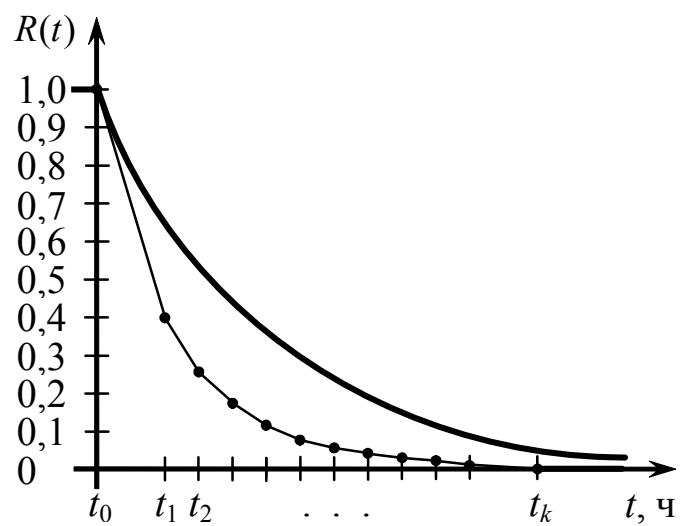


Рис. 18. График функции надежности

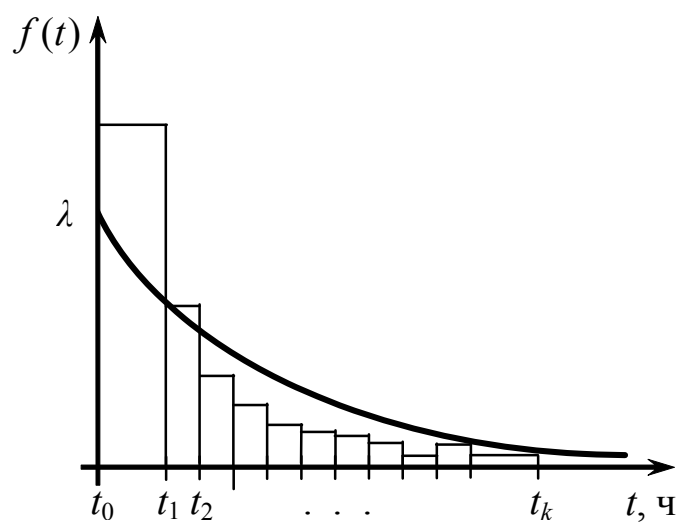


Рис. 19. График плотности распределения наработки

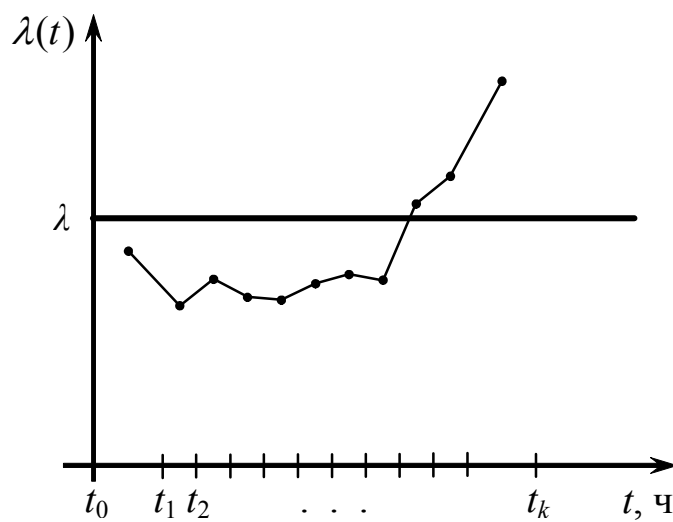


Рис. 20. График функции интенсивности отказов

С целью выбора наиболее подходящего закона распределения из двух предложенных, необходимо сделать проверку правдоподобия выдвинутых гипотез, то есть проверку того, насколько согласуется каждая полученная модель распределения с имеющимися опытными данными. Для решения этой задачи предлагается использовать критерий согласия χ^2 К. Пирсона.

В соответствии с критерием Пирсона, случайная величина

$$U = n \sum_{j=1}^k \frac{(q_j^* - q_j)^2}{q_j},$$

определяющая расхождение между теоретическим законом распределения и имеющимися статистическими данными, подчиняется закону χ^2 -распределения с s степенями свободы. Здесь $q_j = Q(t_{j-1}; t_j)$ – вероятности отказов в соответствующих интервалах, определяемые по формулам:

– для экспоненциального распределения

$$q_j = Q(t_{j-1}; t_j) = e^{-\lambda t_{j-1}} - e^{-\lambda t_j},$$

– для нормального распределения

$$q_j = Q(t_{j-1}; t_j) = \Phi_0\left(\frac{t_j - T_0}{\sigma_t}\right) - \Phi_0\left(\frac{t_{j-1} - T_0}{\sigma_t}\right),$$

– для распределения Вейбулла

$$q_j = Q(t_{j-1}; t_j) = e^{-\mu t_{j-1}^\eta} - e^{-\mu t_j^\eta}.$$

При подстановке в формулу $U = n \sum_{j=1}^k \frac{(q_j^* - q_j)^2}{q_j}$ значений q_j^* , полученных

в серии экспериментов, и значений q_j , вычисленных с помощью формул, выравнивающих экспериментальные данные, случайная величина $U = \chi^2$ примет определенное значение u . Если закон распределения выбран правильно, то, значит, расхождение u обусловлено или недостаточным количеством опытов или погрешностью измерений. Тогда вероятность того, что случайная величина U окажется не больше полученного расхождения u , (то есть вероятность события $U \leq u$) будет достаточно мала. Если же принятый закон не соответствует данному статистическому распределению, то вероятность события $U \leq u$ будет велика.

Обычно при проверке гипотез используют вероятность события, противоположного событию $U \leq u$, (уровень значимости):

$$P_c(\chi^2 > u).$$

Поэтому в таблицах квантилей χ^2 -распределения часто представлена не сама интегральная функция, а ее разность с единицей (табл. П.6):

$$P_c(\chi^2 > u) = 1 - P_c(\chi^2 \leq u) = 1 - F_c(u).$$

Поскольку вероятность $P_c(U = \chi^2 > u)$ зависит от числа степеней свободы c , то необходимо также определить и этот параметр. Число степеней свободы $c = k - s$, где k – это число интервалов статистического ряда, s – число наложенных связей. Одна связь, а именно

$$\sum_{j=1}^k q_j^* = 1,$$

существует во всех случаях. Количество же остальных связей равно числу параметров выбранного распределения. Таким образом, число наложенных связей s определяется как единица плюс число параметров выбранного распределения. Для экспоненциального распределения $c = k - 2$, а для нормального распределения и распределения Вейбулла $c = k - 3$.

Таким образом, решение задачи проверки правдоподобия принятой гипотезы сводится к определению величины u и вероятности $P_c(U = \chi^2 > u)$ при соответствующем числе c степеней свободы. Если эта вероятность мала, то гипотеза отвергается как мало правдоподобная, а если велика, то гипотеза принимается.

После проверки принятых гипотез предпочтение следует отдать той из них, которая обладает бóльшим уровнем значимости.

Задание 3

О виде наработки объекта можно судить, основываясь на выбранном законе распределения.

Первые отказы объекта часто происходят по причине скрытых дефектов, полученных в процессе его изготовления. Поэтому распределением Вейбулла с параметром η , меньшим единицы, которое характеризует этап приработки объекта, описывается наработка до отказа (продолжительность эксплуатации до первого отказа) на этапе приработки.

Если изготовленный объект не содержит скрытых дефектов или перед вводом в эксплуатацию прошел тщательную проверку и обкатку с целью выявления скрытых дефектов, то он вступает в этап нормальной работы, характеризующийся примерным постоянством интенсивности первых отказов. Поэтому экспоненциальное распределение наработки и распределение Вейбулла с параметром η , близким к единице, свидетельствует о том, что исследуемая наработка представляет собой наработку до отказа в период нормальной эксплуатации.

Если объект изготовлен с достаточным запасом надежности, миновал, не получив отказа, этап нормальной эксплуатации и достиг этапа старения, характеризующегося ростом интенсивности отказов, то причиной его первого отказа, как правило, становится изношенность основных узлов и механизмов, и наработка до отказа часто совпадает с ресурсом или сроком служ-

бы объекта. Однако обычно к началу этапа старения технический объект имеет устраненные отказы, и любой отказ на этом этапе не является для него первым. Поэтому этап старения для объекта характерен тем, что объект достигает предельного состояния по причине естественных процессов изнашивания и старения. Таким образом, если наработка объекта описывается распределением Вейбулла с параметром η , большим единицы, или нормальным законом распределения, то эта наработка представляет ресурс или срок службы.

Задание 4

Пользуясь результатами испытаний или эксплуатации объектов данного типа, можно определить приближенное значение статистической вероятности (оценку вероятности) $\hat{Q}(t_*)$ отказа объекта за время t_* по формуле относительной частоты отказа:

$$\hat{Q}(t_*) = Q^*(t_*) = \frac{m(t_*)}{n},$$

где n – общее число объектов, а $m(t_*)$ – число объектов, отказавших к моменту времени t_* . Если время t_* принадлежит j -му интервалу вариационного ряда, то число отказавших объектов рассчитывается по формуле, предполагающей линейную зависимость числа отказов от времени на интервале:

$$m(t_*) = m(t_{j-1}) + \Delta m_j \frac{t_* - t_{j-1}}{t_j - t_{j-1}},$$

где $m(t_{j-1})$ – число отказавших объектов к началу j -го интервала.

Зная вероятность отказа объекта в течение заданной наработки, можно определить вероятность безотказной работы объекта – вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет – как вероятность противоположного события. Так, статистическая оценка вероятности безотказной работы объекта в течение времени t_*

$$\hat{R}(t_*) = R^*(t_*) = 1 - Q^*(t_*) = 1 - \frac{m(t_*)}{n}.$$

Вероятности отказа и безотказной работы объекта в течение времени t_* можно определить, пользуясь полученными вероятностными функциями распределения наработки $F(t)$ и надежности $R(t)$. Так, например, для экспоненциального распределения вероятностная функция надежности

$R(t) = e^{-\lambda t}$, для нормального распределения $R(t) = \Phi\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right)$, а для распределения Вейбулла $R(t) = e^{-\mu t^\eta}$. Соответственно, вероятность безотказной ра-

боты объекта в течение времени t_* для экспоненциального распределения $R(t_*) = e^{-\lambda t_*}$, для нормального распределения $R(t_*) = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t_*}{\sigma_t}\right)$, а для распределения Вейбулла $R(t_*) = e^{-\mu t_*^\eta}$.

Зная функцию надежности объекта, можно решить задачу, обратную задаче определения вероятности безотказной работы в течение заданного времени – задачу определения наработки при заданной вероятности безотказной работы. При этом вероятность безотказной работы обычно задается в процентах и обозначается γ , а получаемая наработка называется гамма-процентной (γ -процентной) наработкой.

Математически гамма-процентная наработка t_γ определяется как квантиль (аргумент) функции надежности в уравнении $R(t_\gamma) = \frac{\gamma}{100}$.

Поскольку для экспоненциального распределения $R(t) = e^{-\lambda t}$, то $e^{-\lambda t_\gamma} = \frac{\gamma}{100}$, откуда $t_\gamma = -\frac{\ln(\gamma/100)}{\lambda}$. С учетом зависимости $T_0 = \frac{1}{\lambda}$ гамма-процентная наработка при экспоненциальном распределении:

$$t_\gamma = -T_0 \ln \frac{\gamma}{100}.$$

Для распределения Вейбулла $R(t) = e^{-\mu t^\eta}$. Поэтому $e^{-\mu t_\gamma^\eta} = \frac{\gamma}{100}$, и

$$t_\gamma = \sqrt[\eta]{-\frac{\ln(\gamma/100)}{\mu}}.$$

В случае нормального распределения $R(t) = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right)$. Следовательно, но, $\frac{\gamma}{100} = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t_\gamma}{\sigma_t}\right)$, и

$$t_\gamma = T_0 - \sigma_t U_{R(t_\gamma)} = T_0 - \sigma_t U_{\frac{\gamma}{100}}.$$

Квантили $U_{\frac{\gamma}{100}} = U_{R(t_\gamma)}$ определяют с помощью таблиц квантилей функции надежности при нормальном распределении наработки (табл. П.4), устанавливающих зависимость квантили от заданного значения вероятности безотказной работы, или с помощью таблиц квантилей централизованного нормированного нормального распределения $\Phi_0(z)$ (табл. П.2), исходя из условий $R(t_\gamma) = F(x)$ и $U_{\frac{\gamma}{100}} = U_{R(t_\gamma)} = U_{F(x)}$.

Задание 5

При увеличении числа опытов статистические оценки параметров сходятся по вероятности к точным значениям соответствующих параметров. Это значит, что при большом количестве опытов вероятность существенного отклонения оценки $\hat{a}$ от точного значения какого-либо параметра a невелика, и в качестве искомого параметра в дальнейших расчетах можно использовать его оценку. Такую оценку называют точечной оценкой параметра a . Если же опытов проведено мало, то полученные на их основании оценки могут значительно отличаться от точных значений параметров и поэтому нуждаются в определении возможной погрешности, под которой понимают абсолютное отклонение оценки $\hat{a}$, полученной на основе некоторого числа опытов, от соответствующего параметра a , то есть, величину $|\hat{a} - a|$.

Функцию распределения погрешности при заданном максимально допустимом значении погрешности ε называют доверительной вероятностью и обозначают β :

$$\beta = F(\varepsilon) = P(|\hat{a} - a| \leq \varepsilon).$$

Раскрыв знак модуля, получим

$$\beta = P(\hat{a} - \varepsilon \leq a \leq \hat{a} + \varepsilon).$$

Интервал $(\hat{a} - \varepsilon; \hat{a} + \varepsilon)$, содержащий с заданной вероятностью β оцениваемый параметр a , называют доверительным интервалом, а его границы $a_{\text{н}} = \hat{a} - \varepsilon$ и $a_{\text{в}} = \hat{a} + \varepsilon$ — доверительными границами. Определение границ доверительного интервала при заданном значении доверительной вероятности является задачей интервальной оценки параметра.

Оценку $\hat{a}$, входящую в формулы $a_{\text{н}} = \hat{a} - \varepsilon$ и $a_{\text{в}} = \hat{a} + \varepsilon$, рассчитывают непосредственно на основе статистических данных. Поэтому определение доверительных границ сводится, в основном, к расчету величины максимального допустимого отклонения ε .

Значение ε рассчитывают на основе закона распределения погрешности $F(\varepsilon) = P(|\hat{a} - a| \leq \varepsilon)$, который зависит от того, какой параметр подвергается исследованию. Поэтому методика определения интервальной оценки каждого параметра индивидуальна. Например, интервальную оценку $(m_{\text{н}}; m_{\text{в}})$ математического ожидания m_x определяют по формулам

$$m_{\text{н}} = \hat{m}_x - \sqrt{\frac{\hat{D}_x}{n}} \cdot \nu_{\beta}, \quad m_{\text{в}} = \hat{m}_x + \sqrt{\frac{\hat{D}_x}{n}} \cdot \nu_{\beta},$$

где $\hat{m}_x$ и $\hat{D}_x$ — точечные оценки соответственно математического ожидания и дисперсии случайной величины X , а ν_{β} — квантиль распределения Стьюдента при заданной вероятности β и $c = n - 1$ степенях свободы (n — количество экспериментальных значений случайной величины X , по которым производится оценка). Квантиль ν_{β} определяют с помощью таблиц (табл. П.7).

Определение интервальной оценки средней наработки сводится к определению доверительных границ $T_{\text{н}}$ и $T_{\text{в}}$ при заданной доверительной вероятности β .

Поскольку средняя наработка является математическим ожиданием наработки, то для доверительных границ оценки средней наработки будут справедливы следующие формулы:

$$T_{\text{н}} = \hat{T}_0 - \sqrt{\frac{\hat{D}_t}{n}} \cdot \nu_{\beta}, \quad T_{\text{в}} = \hat{T}_0 + \sqrt{\frac{\hat{D}_t}{n}} \cdot \nu_{\beta}.$$

Для определения интервальной оценки вероятности отказа и безотказной работы за время t_* введем следующие обозначения вероятности отказа и безотказной работы, а также их точечных оценок: $Q(t_*) = q$, $R(t_*) = r$, $\hat{Q}(t_*) = \hat{q}$, $\hat{R}(t_*) = \hat{r}$.

Точечные оценки вероятностей отказа и безотказной работы объекта по результатам испытаний объектов-аналогов в течение времени t_* определяют как относительные частоты соответствующих событий:

$$\hat{q} = Q^*(t_*) = \frac{m(t_*)}{n}, \quad \hat{r} = R^*(t_*) = 1 - \frac{m(t_*)}{n}.$$

Если число рассматриваемых объектов n достаточно велико, такое, что $nq > 4$ и $nr > 4$, то закон распределения случайной величины $\hat{q}$, а, следовательно, и величины $\hat{r} = 1 - \hat{q}$ можно считать нормальным. Тогда доверительная вероятность оценки вероятности отказа

$$\beta = P(|\hat{q} - q| \leq \varepsilon),$$

где ε – предельно допустимое отклонение оценки от точного значения вероятности отказа. Раскрыв знак модуля, получим

$$\beta = P(q - \varepsilon \leq \hat{q} \leq q + \varepsilon) = \Phi_0\left(\frac{(q + \varepsilon) - M[\hat{q}]}{\sigma[\hat{q}]}\right) - \Phi_0\left(\frac{(q - \varepsilon) - M[\hat{q}]}{\sigma[\hat{q}]}\right),$$

где $M[\hat{q}] = q$ – математическое ожидание, а $\sigma[\hat{q}] = \sqrt{\frac{D_x}{n}} = \sqrt{\frac{qr}{n}}$ – средне-квадратическое отклонение оценки вероятности отказа. Тогда

$$\beta = \Phi_0\left(\frac{q + \varepsilon - q}{\sqrt{qr/n}}\right) - \Phi_0\left(\frac{q - \varepsilon - q}{\sqrt{qr/n}}\right) = 2\Phi_0\left(\frac{\varepsilon}{\sqrt{qr/n}}\right) - 1,$$

откуда

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{qr}{n}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}} = \sqrt{\frac{q \cdot (1-q)}{n}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}},$$

где $U_{\frac{1+\beta}{2}}$ – квантиль централизованного нормированного нормального распре-

деления (табл. П.2), соответствующая вероятности $\frac{1+\beta}{2}$.

Таким образом, вероятность β будет иметь место при выполнении неравенства

$$|\hat{q} - q| \leq \sqrt{\frac{q \cdot (1 - q)}{n}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}},$$

которое путем возведения в квадрат его левой и правой части можно привести к следующему виду:

$$\left(1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}\right) \cdot q^2 - \left(2\hat{q} - \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}\right) \cdot q + \hat{q}^2 \leq 0.$$

Заменив знак неравенства знаком равенства и решив полученное таким образом квадратное уравнение, определим границы $q_{\text{н}}$ и $q_{\text{в}}$ интервала, для которого выполняется приведенное неравенство:

$$q_{\text{н}} = \frac{\hat{q} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{2n} - U_{\frac{1+\beta}{2}} \sqrt{\frac{\hat{q} \cdot (1 - \hat{q})}{n} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}}, \quad q_{\text{в}} = \frac{\hat{q} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{2n} + U_{\frac{1+\beta}{2}} \sqrt{\frac{\hat{q} \cdot (1 - \hat{q})}{n} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}}.$$

Эти границы и являются границами доверительного интервала оценки вероятности отказа.

Аналогично определяются доверительные границы оценки вероятности безотказной работы:

$$r_{\text{н}} = \frac{\hat{r} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{2n} - U_{\frac{1+\beta}{2}} \sqrt{\frac{\hat{r} \cdot (1 - \hat{r})}{n} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}}, \quad r_{\text{в}} = \frac{\hat{r} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{2n} + U_{\frac{1+\beta}{2}} \sqrt{\frac{\hat{r} \cdot (1 - \hat{r})}{n} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}}.$$

При обработке статистических данных может случиться так, что одна или обе доверительные границы оценки вероятности отказа выходят за допустимые для вероятности пределы (0; 1), например, $q_{\text{н}} < 0$. В этом случае в качестве соответствующей границы принимают допустимое предельное значение (для приведенного примера $q_{\text{н}} = 0$).

Доверительные границы оценки вероятности безотказной работы связаны с доверительными границами оценки вероятности отказа следующими соотношениями:

$$q_{\text{н}} + r_{\text{в}} = 1, \quad q_{\text{в}} + r_{\text{н}} = 1.$$

Поэтому, рассчитав интервальную оценку вероятности отказа, можно с помощью этих соотношений определить интервальную оценку вероятности безотказной работы и наоборот.

СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Голинкевич, Т. А. Прикладная теория надежности: учебник для вузов по спец. “Автоматизированные системы управления” / Т. А. Голинкевич. – М.: Высш. шк., 1985. – 168 с.
2. ГОСТ 27.002 – 89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – Введ. 1989–07–01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 38 с.
3. Машиностроение. Энциклопедия / Ред. совет: К. В. Фролов (пред.) и др. Т. IV-3. Надежность машин / В. В. Ключев, В. В. Болотин, Ф. Р. Соснин и др.; под. общ. ред. В. В. Ключева. – М.: Машиностроение, 2003. – 592 с.
4. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. Т.1. Методология. Организация. Терминология / Под ред. А. И. Рембезы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.
5. 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.
6. Надежность и эффективность в технике: справочник. В 10 т. / Ред. совет: В. С. Авдеевский (пред.) и др. Т.6. Экспериментальная отработка и испытания / Под общ. ред. Р. С. Судакова, О. И. Тескина. – М.: Машиностроение, 1989. – 376 с.
7. 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.
8. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
9. Решетов, Д. Н. Надежность машин: учеб. пособие для машиностр. спец. вузов / Д. Н. Решетов, А. С. Иванов, В. З. Фадеев; под ред. Д. Н. Решетова. – М.: Высш. шк., 1988. – 238 с.
10. Сборник задач по теории надежности / А. М. Половко, И. М. Маликов, А. Н. Жигарев, В. И. Зарудный; под ред. А. М. Половко и И. М. Маликова. – М.: Советское радио, 1972. – 408 с.
11. Труханов, В. М. Методы обеспечения надежности изделий машиностроения / В. М. Труханов. – М.: Машиностроение, 1995. – 304 с.
12. Труханов, В. М. Надежность в технике / В. М. Труханов. – М.: Машиностроение, 1999. – 598 с.
13. Чернышов, К. В. Основы теории надежности и диагностики: учеб. пособ. / К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2003. – 59 с.
14. Чернышов К. В. Показатели надежности технических систем: наработка до отказа, ресурс, срок службы: учеб. пособ. / К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 80 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ П.1

Таблица П.1

Значения центрированной нормированной функции нормального распределения

$$\Phi_0(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	$\Phi_0(z)$	Δ^1	z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ
-3,90	0,0000	1	-1,89	0,0294	7	-1,59	0,0559	12
-3,80	0,0001	0	-1,88	0,0301	6	-1,58	0,0571	11
-3,70	0,0001	1	-1,87	0,0307	7	-1,57	0,0582	12
-3,60	0,0002	0	-1,86	0,0314	8	-1,56	0,0594	12
-3,50	0,0002	1	-1,85	0,0322	7	-1,55	0,0606	12
-3,40	0,0003	2	-1,84	0,0329	7	-1,54	0,0618	12
-3,30	0,0005	2	-1,83	0,0336	8	-1,53	0,0630	13
-3,20	0,0007	3	-1,82	0,0344	7	-1,52	0,0643	12
-3,10	0,0010	4	-1,81	0,0351	8	-1,51	0,0655	13
-3,00	0,0014	5	-1,80	0,0359	8	-1,50	0,0668	13
-2,90	0,0019	7	-1,79	0,0367	8	-1,49	0,0681	13
-2,80	0,0026	9	-1,78	0,0375	9	-1,48	0,0694	14
-2,70	0,0035	12	-1,77	0,0384	8	-1,47	0,0708	13
-2,60	0,0047	15	-1,76	0,0392	9	-1,46	0,0721	14
-2,50	0,0062	20	-1,75	0,0401	8	-1,45	0,0735	14
-2,40	0,0082	25	-1,74	0,0409	9	-1,44	0,0749	15
-2,30	0,0107	32	-1,73	0,0418	9	-1,43	0,0764	14
-2,20	0,0139	40	-1,72	0,0427	9	-1,42	0,0778	15
-2,10	0,0179	49	-1,71	0,0436	10	-1,41	0,0793	15
-2,00	0,0228	5	-1,70	0,0446	9	-1,40	0,0808	15
-1,99	0,0233	6	-1,69	0,0455	10	-1,39	0,0823	15
-1,98	0,0239	5	-1,68	0,0465	10	-1,38	0,0838	15
-1,97	0,0244	6	-1,67	0,0475	10	-1,37	0,0853	16
-1,96	0,0250	6	-1,66	0,0485	10	-1,36	0,0869	16
-1,95	0,0256	6	-1,65	0,0495	10	-1,35	0,0885	16
-1,94	0,0262	6	-1,64	0,0505	11	-1,34	0,0901	17
-1,93	0,0268	6	-1,63	0,0516	10	-1,33	0,0918	16
-1,92	0,0274	7	-1,62	0,0526	11	-1,32	0,0934	17
-1,91	0,0281	7	-1,61	0,0537	11	-1,31	0,0951	17
-1,90	0,0288	6	-1,60	0,0548	11	-1,30	0,0968	17

¹ Δ – разность (умноженная на 10^4) между данным и последующим значениями $\Phi^*(x)$ – приводится для удобства интерполяции

z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ
-1,29	0,0985	18	-0,89	0,1867	27	-0,49	0,3121	35
-1,28	0,1003	17	-0,88	0,1894	28	-0,48	0,3156	36
-1,27	0,1020	18	-0,87	0,1922	27	-0,47	0,3192	36
-1,26	0,1038	18	-0,86	0,1949	28	-0,46	0,3228	36
-1,25	0,1056	19	-0,85	0,1977	28	-0,45	0,3264	36
-1,24	0,1075	18	-0,84	0,2005	28	-0,44	0,3300	36
-1,23	0,1093	19	-0,83	0,2033	28	-0,43	0,3336	36
-1,22	0,1112	19	-0,82	0,2061	29	-0,42	0,3372	37
-1,21	0,1131	20	-0,81	0,2090	29	-0,41	0,3409	37
-1,20	0,1151	19	-0,80	0,2119	29	-0,40	0,3446	37
-1,19	0,1170	20	-0,79	0,2148	29	-0,39	0,3483	37
-1,18	0,1190	20	-0,78	0,2177	29	-0,38	0,3520	37
-1,17	0,1210	20	-0,77	0,2206	30	-0,37	0,3557	37
-1,16	0,1230	21	-0,76	0,2236	30	-0,36	0,3594	38
-1,15	0,1251	20	-0,75	0,2266	31	-0,35	0,3632	37
-1,14	0,1271	21	-0,74	0,2297	30	-0,34	0,3669	38
-1,13	0,1292	22	-0,73	0,2327	31	-0,33	0,3707	38
-1,12	0,1314	21	-0,72	0,2358	31	-0,32	0,3745	38
-1,11	0,1335	22	-0,71	0,2389	31	-0,31	0,3783	38
-1,10	0,1357	22	-0,70	0,2420	31	-0,30	0,3821	38
-1,09	0,1379	22	-0,69	0,2451	32	-0,29	0,3859	38
-1,08	0,1401	22	-0,68	0,2483	31	-0,28	0,3897	39
-1,07	0,1423	23	-0,67	0,2514	32	-0,27	0,3936	38
-1,06	0,1446	23	-0,66	0,2546	32	-0,26	0,3974	39
-1,05	0,1469	23	-0,65	0,2578	33	-0,25	0,4013	39
-1,04	0,1492	23	-0,64	0,2611	32	-0,24	0,4052	38
-1,03	0,1515	24	-0,63	0,2643	33	-0,23	0,4090	39
-1,02	0,1539	24	-0,62	0,2676	33	-0,22	0,4129	39
-1,01	0,1563	24	-0,61	0,2709	34	-0,21	0,4168	39
-1,00	0,1587	24	-0,60	0,2743	33	-0,20	0,4207	40
-0,99	0,1611	24	-0,59	0,2776	34	-0,19	0,4247	39
-0,98	0,1635	25	-0,58	0,2810	33	-0,18	0,4286	39
-0,97	0,1660	25	-0,57	0,2843	34	-0,17	0,4325	39
-0,96	0,1685	26	-0,56	0,2877	35	-0,16	0,4364	40
-0,95	0,1711	25	-0,55	0,2912	34	-0,15	0,4404	39
-0,94	0,1736	26	-0,54	0,2946	35	-0,14	0,4443	40
-0,93	0,1762	26	-0,53	0,2981	34	-0,13	0,4483	39
-0,92	0,1788	26	-0,52	0,3015	35	-0,12	0,4522	40
-0,91	0,1814	27	-0,51	0,3050	35	-0,11	0,4562	40
-0,90	0,1841	26	-0,50	0,3085	36	-0,10	0,4602	39

z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ
-0,09	0,4641	40	0,30	0,6179	38	0,70	0,7580	31
-0,08	0,4681	40	0,31	0,6217	38	0,71	0,7611	31
-0,07	0,4721	40	0,32	0,6255	38	0,72	0,7642	31
-0,06	0,4761	40	0,33	0,6293	38	0,73	0,7673	30
-0,05	0,4801	39	0,34	0,6331	37	0,74	0,7703	31
-0,04	0,4840	40	0,35	0,6368	38	0,75	0,7734	30
-0,03	0,4880	40	0,36	0,6406	37	0,76	0,7764	30
-0,02	0,4920	40	0,37	0,6443	37	0,77	0,7794	29
-0,01	0,4960	40	0,38	0,6480	37	0,78	0,7823	29
-0,00	0,5000		0,39	0,6517	37	0,79	0,7852	29
0,00	0,5000	40	0,40	0,6554	37	0,80	0,7881	29
0,01	0,5040	40	0,41	0,6591	37	0,81	0,7910	29
0,02	0,5080	40	0,42	0,6628	36	0,82	0,7939	28
0,03	0,5120	40	0,43	0,6664	36	0,83	0,7967	28
0,04	0,5160	39	0,44	0,6700	36	0,84	0,7995	28
0,05	0,5199	40	0,45	0,6736	36	0,85	0,8023	28
0,06	0,5239	40	0,46	0,6772	36	0,86	0,8051	27
0,07	0,5279	40	0,47	0,6808	36	0,87	0,8078	28
0,08	0,5319	40	0,48	0,6844	35	0,88	0,8106	27
0,09	0,5359	39	0,49	0,6879	36	0,89	0,8133	26
0,10	0,5398	40	0,50	0,6915	35	0,90	0,8159	27
0,11	0,5438	40	0,51	0,6950	35	0,91	0,8186	26
0,12	0,5478	39	0,52	0,6985	34	0,92	0,8212	26
0,13	0,5517	40	0,53	0,7019	35	0,93	0,8238	26
0,14	0,5557	39	0,54	0,7054	34	0,94	0,8264	25
0,15	0,5596	40	0,55	0,7088	35	0,95	0,8289	26
0,16	0,5636	39	0,56	0,7123	34	0,96	0,8315	25
0,17	0,5675	39	0,57	0,7157	33	0,97	0,8340	25
0,18	0,5714	39	0,58	0,7190	34	0,98	0,8365	24
0,19	0,5753	40	0,59	0,7224	33	0,99	0,8389	24
0,20	0,5793	39	0,60	0,7257	34	1,00	0,8413	24
0,21	0,5832	39	0,61	0,7291	33	1,01	0,8437	24
0,22	0,5871	39	0,62	0,7324	33	1,02	0,8461	24
0,23	0,5910	38	0,63	0,7357	32	1,03	0,8485	23
0,24	0,5948	39	0,64	0,7389	33	1,04	0,8508	23
0,25	0,5987	39	0,65	0,7422	32	1,05	0,8531	23
0,26	0,6026	38	0,66	0,7454	32	1,06	0,8554	23
0,27	0,6064	39	0,67	0,7486	31	1,07	0,8577	22
0,28	0,6103	38	0,68	0,7517	32	1,08	0,8599	22
0,29	0,6141	38	0,69	0,7549	31	1,09	0,8621	22

z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ	z	$\Phi_0(z)$	Δ
1,10	0,8643	22	1,50	0,9332	13	1,90	0,9713	6
1,11	0,8665	21	1,51	0,9345	12	1,91	0,9719	7
1,12	0,8686	22	1,52	0,9357	13	1,92	0,9726	6
1,13	0,8708	21	1,53	0,9370	12	1,93	0,9732	6
1,14	0,8729	20	1,54	0,9382	12	1,94	0,9738	6
1,15	0,8749	21	1,55	0,9394	12	1,95	0,9744	6
1,16	0,8770	20	1,56	0,9406	12	1,96	0,9750	6
1,17	0,8790	20	1,57	0,9418	11	1,97	0,9756	5
1,18	0,8810	20	1,58	0,9429	12	1,98	0,9761	6
1,19	0,8830	19	1,59	0,9441	11	1,99	0,9767	5
1,20	0,8849	20	1,60	0,9452	11	2,00	0,9772	49
1,21	0,8869	19	1,61	0,9463	11	2,10	0,9821	40
1,22	0,8888	19	1,62	0,9474	10	2,20	0,9861	32
1,23	0,8907	18	1,63	0,9484	11	2,30	0,9893	25
1,24	0,8925	19	1,64	0,9495	10	2,40	0,9918	20
1,25	0,8944	18	1,65	0,9505	10	2,50	0,9938	15
1,26	0,8962	18	1,66	0,9515	10	2,60	0,9953	12
1,27	0,8980	17	1,67	0,9525	10	2,70	0,9965	9
1,28	0,8997	18	1,68	0,9535	10	2,80	0,9974	7
1,29	0,9015	17	1,69	0,9545	9	2,90	0,9981	5
1,30	0,9032	17	1,70	0,9554	10	3,00	0,9986	4
1,31	0,9049	17	1,71	0,9564	9	3,10	0,9990	3
1,32	0,9066	16	1,72	0,9573	9	3,20	0,9993	2
1,33	0,9082	17	1,73	0,9582	9	3,30	0,9995	2
1,34	0,9099	16	1,74	0,9591	8	3,40	0,9997	1
1,35	0,9115	16	1,75	0,9599	9	3,50	0,9998	0
1,36	0,9131	16	1,76	0,9608	8	3,60	0,9998	1
1,37	0,9147	15	1,77	0,9616	9	3,70	0,9999	0
1,38	0,9162	15	1,78	0,9625	8	3,80	0,9999	1
1,39	0,9177	15	1,79	0,9633	8	3,90	1,0000	
1,40	0,9192	15	1,80	0,9641	8			
1,41	0,9207	15	1,81	0,9649	7			
1,42	0,9222	14	1,82	0,9656	8			
1,43	0,9236	15	1,83	0,9664	7			
1,44	0,9251	14	1,84	0,9671	7			
1,45	0,9265	14	1,85	0,9678	8			
1,46	0,9279	13	1,86	0,9686	7			
1,47	0,9292	14	1,87	0,9693	6			
1,48	0,9306	13	1,88	0,9699	7			
1,49	0,9319	13	1,89	0,9706	7			

Значения квантилей функции нормального распределения

$$U_{F(x)} = \frac{x - m_x}{\sigma_x}$$

$F(x)$	$U_{F(x)}$	$F(x)$	$U_{F(x)}$	$F(x)$	$U_{F(x)}$
0,001	-3,09024472	0,400	-0,25334657	0,800	0,84162139
0,010	-2,32634193	0,410	-0,22754534	0,810	0,87789658
0,020	-2,05374818	0,420	-0,20189418	0,820	0,91536549
0,030	-1,88078957	0,430	-0,17637376	0,830	0,95416453
0,040	-1,75068635	0,440	-0,15096930	0,840	0,99445742
0,050	-1,64485300	0,450	-0,12566147	0,850	1,03643288
0,060	-1,55477210	0,460	-0,10043323	0,860	1,08032054
0,070	-1,47579158	0,470	-0,07526978	0,870	1,12639100
0,080	-1,40507382	0,480	-0,05015409	0,880	1,17498757
0,090	-1,34075435	0,490	-0,02506908	0,890	1,22652864
0,100	-1,28155079	0,500	0,00000000	0,900	1,28155079
0,110	-1,22652864	0,510	0,02506908	0,910	1,34075435
0,120	-1,17498757	0,520	0,05015409	0,920	1,40507382
0,130	-1,12639100	0,530	0,07526978	0,930	1,47579158
0,140	-1,08032054	0,540	0,10043323	0,940	1,55477210
0,150	-1,03643288	0,550	0,12566147	0,950	1,64485300
0,160	-0,99445742	0,560	0,15096930	0,960	1,75068635
0,170	-0,95416453	0,570	0,17637376	0,970	1,88078957
0,180	-0,91536549	0,580	0,20189418	0,980	2,05374818
0,190	-0,87789658	0,590	0,22754534	0,990	2,32634193
0,200	-0,84162139	0,600	0,25334657	0,991	2,36561391
0,210	-0,80642167	0,610	0,27931947	0,992	2,40892405
0,220	-0,77219283	0,620	0,30548108	0,993	2,45727279
0,230	-0,73884621	0,630	0,33185415	0,994	2,51213351
0,240	-0,70630222	0,640	0,35845915	0,995	2,57583451
0,250	-0,67449037	0,650	0,38532107	0,996	2,65208655
0,260	-0,64334472	0,660	0,41246267	0,997	2,74776539
0,270	-0,61281298	0,670	0,43991349	0,998	2,87815055
0,280	-0,58284058	0,680	0,46769856	0,999	3,09024472
0,290	-0,55338433	0,690	0,49584969	0,9991	3,12138582
0,300	-0,52440100	0,700	0,52440100	0,9992	3,15601937
0,310	-0,49584969	0,710	0,55338433	0,9993	3,19472747
0,320	-0,46769856	0,720	0,58284058	0,9994	3,23896529
0,330	-0,43991349	0,730	0,61281298	0,9995	3,29047907
0,340	-0,41246267	0,740	0,64334472	0,9996	3,35276127
0,350	-0,38532107	0,750	0,67449037	0,9997	3,43192369
0,360	-0,35845915	0,760	0,70630222	0,9998	3,54018994
0,370	-0,33185415	0,770	0,73884621	0,9999	3,71946953
0,380	-0,30548108	0,780	0,77219283		
0,390	-0,27931947	0,790	0,80642167	0,99999	4,26545739

Значения гамма-функции $\Gamma(x) = \int_0^{\infty} t^{x-1} e^{-t} dt$

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
1,00	1,00000	1,40	0,88726	1,80	0,93138	2,20	1,10180
1,01	0,99433	1,41	0,88676	1,81	0,93408	2,21	1,10785
1,02	0,98884	1,42	0,88636	1,82	0,93685	2,22	1,11399
1,03	0,98355	1,43	0,88604	1,83	0,93969	2,23	1,12023
1,04	0,97844	1,44	0,88581	1,84	0,94261	2,24	1,12657
1,05	0,97350	1,45	0,88566	1,85	0,94561	2,25	1,13300
1,06	0,96874	1,46	0,88560	1,86	0,94869	2,26	1,13954
1,07	0,96415	1,47	0,88563	1,87	0,95184	2,27	1,14618
1,08	0,95973	1,48	0,88575	1,88	0,95507	2,28	1,15292
1,09	0,95546	1,49	0,88595	1,89	0,95838	2,29	1,15976
1,10	0,95135	1,50	0,88623	1,90	0,96177	2,30	1,16671
1,11	0,94740	1,51	0,88659	1,91	0,96523	2,31	1,17377
1,12	0,94359	1,52	0,88704	1,92	0,96877	2,32	1,18093
1,13	0,93993	1,53	0,88757	1,93	0,97240	2,33	1,18819
1,14	0,93642	1,54	0,88818	1,94	0,97610	2,34	1,19557
1,15	0,93304	1,55	0,88887	1,95	0,97988	2,35	1,20305
1,16	0,92980	1,56	0,88964	1,96	0,98374	2,36	1,21065
1,17	0,92670	1,57	0,89049	1,97	0,98768	2,37	1,21836
1,18	0,92373	1,58	0,89142	1,98	0,99171	2,38	1,22618
1,19	0,92089	1,59	0,89243	1,99	0,99581	2,39	1,23412
1,20	0,91817	1,60	0,89352	2,00	1,00000	2,40	1,24217
1,21	0,91558	1,61	0,89468	2,01	1,00427	2,41	1,25034
1,22	0,91311	1,62	0,89592	2,02	1,00862	2,42	1,25863
1,23	0,91075	1,63	0,89724	2,03	1,01306	2,43	1,26703
1,24	0,90852	1,64	0,89864	2,04	1,01758	2,44	1,27556
1,25	0,90640	1,65	0,90012	2,05	1,02218	2,45	1,28421
1,26	0,90440	1,66	0,90167	2,06	1,02687	2,46	1,29298
1,27	0,90250	1,67	0,90330	2,07	1,03164	2,47	1,30188
1,28	0,90072	1,68	0,90500	2,08	1,03650	2,48	1,31091
1,29	0,89904	1,69	0,90678	2,09	1,04145	2,49	1,32006
1,30	0,89747	1,70	0,90864	2,10	1,04649	2,50	1,32934
1,31	0,89600	1,71	0,91057	2,11	1,05161	2,51	1,33875
1,32	0,89464	1,72	0,91258	2,12	1,05682	2,52	1,34830
1,33	0,89338	1,73	0,91467	2,13	1,06212	2,53	1,35798
1,34	0,89222	1,74	0,91683	2,14	1,06751	2,54	1,36779
1,35	0,89115	1,75	0,91906	2,15	1,07300	2,55	1,37775
1,36	0,89018	1,76	0,92137	2,16	1,07857	2,56	1,38784
1,37	0,88931	1,77	0,92376	2,17	1,08424	2,57	1,39807
1,38	0,88854	1,78	0,92623	2,18	1,09000	2,58	1,40844
1,39	0,88785	1,79	0,92877	2,19	1,09585	2,59	1,41896

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
2,60	1,42962	3,00	2,00000	3,40	2,98121	3,80	4,69417
2,61	1,44044	3,01	2,01858	3,41	3,01331	3,81	4,75081
2,62	1,45140	3,02	2,03741	3,42	3,04587	3,82	4,80826
2,63	1,46251	3,03	2,05650	3,43	3,07889	3,83	4,86656
2,64	1,47377	3,04	2,07585	3,44	3,11236	3,84	4,92572
2,65	1,48519	3,05	2,09547	3,45	3,14631	3,85	4,98573
2,66	1,49677	3,06	2,11535	3,46	3,18074	3,86	5,04664
2,67	1,50851	3,07	2,13550	3,47	3,21565	3,87	5,10843
2,68	1,52040	3,08	2,15593	3,48	3,25105	3,88	5,17114
2,69	1,53246	3,09	2,17663	3,49	3,28695	3,89	5,23476
2,70	1,54469	3,10	2,19762	3,50	3,32335	3,90	5,29933
2,71	1,55708	3,11	2,21890	3,51	3,36027	3,91	5,36485
2,72	1,56964	3,12	2,24046	3,52	3,39771	3,92	5,43134
2,73	1,58237	3,13	2,26232	3,53	3,43569	3,93	5,49881
2,74	1,59528	3,14	2,28448	3,54	3,47420	3,94	5,56728
2,75	1,60836	3,15	2,30694	3,55	3,51325	3,95	5,63676
2,76	1,62162	3,16	2,32971	3,56	3,55286	3,96	5,70728
2,77	1,63506	3,17	2,35280	3,57	3,59304	3,97	5,77885
2,78	1,64868	3,18	2,37620	3,58	3,63378	3,98	5,85148
2,79	1,66249	3,19	2,39992	3,59	3,67511	3,99	5,92519
2,80	1,67649	3,20	2,42397	3,60	3,71702	4,00	6,00000
2,81	1,69068	3,21	2,44834	3,61	3,75954	4,10	6,81262
2,82	1,70506	3,22	2,47306	3,62	3,80266	4,20	7,75669
2,83	1,71963	3,23	2,49811	3,63	3,84640	4,30	8,85534
2,84	1,73441	3,24	2,52351	3,64	3,89076	4,40	10,1361
2,85	1,74938	3,25	2,54926	3,65	3,93576	4,50	11,6317
2,86	1,76456	3,26	2,57536	3,66	3,98141	4,60	13,3813
2,87	1,77994	3,27	2,60183	3,67	4,02771	4,70	15,4314
2,88	1,79553	3,28	2,62866	3,68	4,07468	4,80	17,8379
2,89	1,81134	3,29	2,65586	3,69	4,12232	4,90	20,6674
2,90	1,82736	3,30	2,68344	3,70	4,17065	5,00	24,0000
2,91	1,84359	3,31	2,71140	3,71	4,21968	5,10	27,9318
2,92	1,86005	3,32	2,73975	3,72	4,26942	5,20	32,5781
2,93	1,87673	3,33	2,76849	3,73	4,31987	5,30	38,0780
2,94	1,89363	3,34	2,79763	3,74	4,37106	5,40	44,5988
2,95	1,91077	3,35	2,82718	3,75	4,42299	5,50	52,3428
2,96	1,92814	3,36	2,85714	3,76	4,47567	5,60	61,5539
2,97	1,94574	3,37	2,88751	3,77	4,52912	5,70	72,5276
2,98	1,96358	3,38	2,91831	3,78	4,58334	5,80	85,6217
2,99	1,98167	3,39	2,94954	3,79	4,63836	5,90	101,270

x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$	x	$\Gamma(x)$
6,00	120,000	7,00	720,000	8,00	5040,00	9,00	40320,0
6,10	142,452	7,10	868,957	8,10	6169,59	9,10	49973,7
6,20	169,406	7,20	1050,32	8,20	7562,29	9,20	62010,8
6,30	201,813	7,30	1271,42	8,30	9281,39	9,30	77035,6
6,40	240,834	7,40	1541,34	8,40	11405,9	9,40	95809,5
6,50	287,885	7,50	1871,25	8,50	14034,4	9,50	119292
6,60	344,702	7,60	2275,03	8,60	17290,2	9,60	148696
6,70	413,408	7,70	2769,83	8,70	21327,7	9,70	185551
6,80	496,606	7,80	3376,92	8,80	26340,0	9,80	231792
6,90	597,494	7,90	4122,71	8,90	32569,4	9,90	289868

Таблица П.4

Значения квантилей функции надежности при нормальном
распределении наработки

$$U_{R(t)} = \frac{T_0 - t}{\sigma_t}$$

$R(t)$	$U_{R(t)}$	$R(t)$	$U_{R(t)}$	$R(t)$	$U_{R(t)}$	$R(t)$	$U_{R(t)}$
0,50	0,00000	0,91	1,34075	0,991	2,36561	0,9991	3,12139
0,55	0,12566	0,92	1,40507	0,992	2,40892	0,9992	3,15602
0,60	0,25335	0,93	1,47579	0,993	2,45727	0,9993	3,19473
0,65	0,38532	0,94	1,55477	0,994	2,51213	0,9994	3,23897
0,70	0,52440	0,95	1,64485	0,995	2,57583	0,9995	3,29048
0,75	0,67449	0,96	1,75069	0,996	2,65209	0,9996	3,35276
0,80	0,84162	0,97	1,88079	0,997	2,74777	0,9997	3,43192
0,85	1,03643	0,98	2,05375	0,998	2,87815	0,9998	3,54019
0,90	1,28155	0,99	2,32634	0,999	3,09024	0,9999	3,71947

Значения коэффициента вариации $\nu = \frac{\sqrt{\Gamma\left(1+\frac{2}{\eta}\right) - \Gamma^2\left(1+\frac{1}{\eta}\right)}}{\Gamma\left(1+\frac{1}{\eta}\right)}$ распределения

Вейбулла ($f(t) = \mu\eta t^{\eta-1}e^{-\mu t^\eta}$) в зависимости от коэффициента формы η

η	ν	η	ν	η	ν	η	ν
0,11	234,266	0,46	2,52186	0,81	1,24375	1,16	0,86457
0,12	141,522	0,47	2,44312	0,82	1,22748	1,17	0,85746
0,13	92,526	0,48	2,36955	0,83	1,21170	1,18	0,85048
0,14	64,359	0,49	2,30068	0,84	1,19638	1,19	0,84363
0,15	47,037	0,50	2,23607	0,85	1,18150	1,20	0,83690
0,16	35,783	0,51	2,17534	0,86	1,16704	1,21	0,83029
0,17	28,132	0,52	2,11815	0,87	1,15297	1,22	0,82380
0,18	22,731	0,53	2,06421	0,88	1,13930	1,23	0,81743
0,19	18,793	0,54	2,01325	0,89	1,12599	1,24	0,81116
0,20	15,843	0,55	1,96501	0,90	1,11303	1,25	0,80500
0,21	13,579	0,56	1,91930	0,91	1,10041	1,26	0,79895
0,22	11,807	0,57	1,87592	0,92	1,08811	1,27	0,79299
0,23	10,393	0,58	1,83469	0,93	1,07613	1,28	0,78714
0,24	9,248	0,59	1,79545	0,94	1,06444	1,29	0,78138
0,25	8,307	0,60	1,75807	0,95	1,05305	1,30	0,77572
0,26	7,524	0,61	1,72240	0,96	1,04192	1,31	0,77015
0,27	6,865	0,62	1,68834	0,97	1,03107	1,32	0,76466
0,28	6,304	0,63	1,65578	0,98	1,02047	1,33	0,75927
0,29	5,824	0,64	1,62461	0,99	1,01012	1,34	0,75396
0,30	5,408	0,65	1,59475	1,00	1,00000	1,35	0,74873
0,31	5,045	0,66	1,56612	1,01	0,99011	1,36	0,74358
0,32	4,727	0,67	1,53864	1,02	0,98045	1,37	0,73851
0,33	4,445	0,68	1,51224	1,03	0,97099	1,38	0,73352
0,34	4,195	0,69	1,48685	1,04	0,96175	1,39	0,72860
0,35	3,972	0,70	1,46242	1,05	0,95270	1,40	0,72375
0,36	3,771	0,71	1,43890	1,06	0,94384	1,41	0,71898
0,37	3,590	0,72	1,41622	1,07	0,93517	1,42	0,71427
0,38	3,426	0,73	1,39436	1,08	0,92668	1,43	0,70964
0,39	3,277	0,74	1,37325	1,09	0,91836	1,44	0,70507
0,40	3,141	0,75	1,35286	1,10	0,91022	1,45	0,70056
0,41	3,016	0,76	1,33316	1,11	0,90223	1,46	0,69612
0,42	2,901	0,77	1,31410	1,12	0,89440	1,47	0,69174
0,43	2,795	0,78	1,29566	1,13	0,88672	1,48	0,68743
0,44	2,697	0,79	1,27781	1,14	0,87920	1,49	0,68317
0,45	2,606	0,80	1,26051	1,15	0,87181	1,50	0,67897

η	ν	η	ν	η	ν	η	ν
1,51	0,67483	1,91	0,54487	2,31	0,45929	4,10	0,27435
1,52	0,67074	1,92	0,54231	2,32	0,45752	4,20	0,26842
1,53	0,66670	1,93	0,53977	2,33	0,45576	4,30	0,26276
1,54	0,66272	1,94	0,53726	2,34	0,45402	4,40	0,25733
1,55	0,65880	1,95	0,53478	2,35	0,45228	4,50	0,25213
1,56	0,65492	1,96	0,53232	2,36	0,45057	4,60	0,24714
1,57	0,65109	1,97	0,52988	2,37	0,44886	4,70	0,24235
1,58	0,64732	1,98	0,52747	2,38	0,44717	4,80	0,23775
1,59	0,64539	1,99	0,52509	2,39	0,44550	4,90	0,23332
1,60	0,63991	2,00	0,52272	2,40	0,44384	5,00	0,22905
1,61	0,63627	2,01	0,52038	2,41	0,44219	5,10	0,22494
1,62	0,63268	2,02	0,51806	2,42	0,44055	5,20	0,22098
1,63	0,62913	2,03	0,51577	2,43	0,43893	5,30	0,21716
1,64	0,62563	2,04	0,51349	2,44	0,43732	5,40	0,21348
1,65	0,62217	2,05	0,51124	2,45	0,43572	5,50	0,20991
1,66	0,61875	2,06	0,50901	2,46	0,43413	5,60	0,20647
1,67	0,61537	2,07	0,50680	2,47	0,43256	5,70	0,20314
1,68	0,61204	2,08	0,50461	2,48	0,43099	5,80	0,19992
1,69	0,60874	2,09	0,50244	2,49	0,42944	5,90	0,19680
1,70	0,60548	2,10	0,50029	2,50	0,42791	6,00	0,19377
1,71	0,60226	2,11	0,49816	2,55	0,42039	6,10	0,19084
1,72	0,59908	2,12	0,49605	2,60	0,41314	6,20	0,18800
1,73	0,59593	2,13	0,49396	2,65	0,40616	6,30	0,18524
1,74	0,59282	2,14	0,49188	2,70	0,39942	6,40	0,18257
1,75	0,58974	2,15	0,48983	2,75	0,39291	6,50	0,17997
1,76	0,58670	2,16	0,48779	2,80	0,38662	6,60	0,17744
1,77	0,58369	2,17	0,48578	2,85	0,38054	6,70	0,17499
1,78	0,58072	2,18	0,48378	2,90	0,37466	6,80	0,17260
1,79	0,57778	2,19	0,48179	2,95	0,36896	6,90	0,17028
1,80	0,57487	2,20	0,47983	3,00	0,36345	7,00	0,16802
1,81	0,57200	2,21	0,47788	3,10	0,35291	7,10	0,16582
1,82	0,56915	2,22	0,47595	3,20	0,34300	7,20	0,16368
1,83	0,56634	2,23	0,47404	3,30	0,33365	7,30	0,16159
1,84	0,56355	2,24	0,47214	3,40	0,32482	7,40	0,15956
1,85	0,56080	2,25	0,47026	3,50	0,31646	7,50	0,15758
1,86	0,55807	2,26	0,46839	3,60	0,30853	7,60	0,15564
1,87	0,55538	2,27	0,46654	3,70	0,30101	7,70	0,15376
1,88	0,55271	2,28	0,46471	3,80	0,29385	7,80	0,15192
1,89	0,55007	2,29	0,46289	3,90	0,28704	7,90	0,15012
1,90	0,54745	2,30	0,46108	4,00	0,28054	8,00	0,14837

Таблица П.6

Значения квантилей χ^2 -распределения (случайной величины $U = \chi^2$)

$$P_c(\chi^2 > u) = \begin{cases} 1 & \text{при } u \leq 0, \\ 1 - \frac{1}{2^{\frac{c}{2}} \cdot \Gamma\left(\frac{c}{2}\right)} \int_0^u e^{-\frac{u}{2}} u^{\frac{c}{2}-1} du & \text{при } u > 0 \end{cases}$$

в зависимости от вероятности $P_c(\chi^2 > u)$ и числа степеней свободы c

c	$P_c(\chi^2 > u)$									
	0,001	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40
1	10,827	6,635	5,412	4,709	4,218	3,841	2,706	1,642	1,074	0,708
2	13,815	9,210	7,824	7,013	6,438	5,991	4,605	3,219	2,408	1,833
3	16,266	11,345	9,837	8,947	8,311	7,815	6,251	4,642	3,665	2,946
4	18,466	13,277	11,668	10,712	10,026	9,488	7,779	5,989	4,878	4,045
5	20,515	15,086	13,388	12,375	11,644	11,070	9,236	7,289	6,064	5,132
6	22,457	16,812	15,033	13,968	13,198	12,592	10,645	8,558	7,231	6,211
7	24,321	18,475	16,622	15,509	14,703	14,067	12,017	9,803	8,383	7,283
8	26,124	20,090	18,168	17,011	16,171	15,507	13,362	11,030	9,524	8,351
9	27,877	21,666	19,679	18,480	17,608	16,919	14,684	12,242	10,656	9,414
10	29,588	23,209	21,161	19,922	19,021	18,307	15,987	13,442	11,781	10,473
11	31,264	24,725	22,618	21,342	20,412	19,675	17,275	14,631	12,899	11,530
12	32,909	26,217	24,054	22,742	21,785	21,026	18,549	15,812	14,011	12,584
13	34,527	27,688	25,471	24,125	23,142	22,362	19,812	16,985	15,119	13,636
14	36,124	29,141	26,873	25,493	24,485	23,685	21,064	18,151	16,222	14,685
15	37,698	30,578	28,259	26,848	25,816	24,996	22,307	19,311	17,322	15,733
16	39,252	32,000	29,633	28,191	27,136	26,296	23,542	20,465	18,418	16,780
17	40,791	33,409	30,995	29,523	28,445	27,587	24,769	21,615	19,511	17,824
18	42,312	34,805	32,346	30,845	29,745	28,869	25,989	22,760	20,601	18,868
19	43,819	36,191	33,687	32,158	31,037	30,144	27,204	23,900	21,689	19,910
20	45,314	37,566	35,020	33,462	32,321	31,410	28,412	25,038	22,775	20,951
21	46,796	38,932	36,343	34,759	33,597	32,671	29,615	26,171	23,858	21,992
22	48,268	40,289	37,659	36,049	34,867	33,924	30,813	27,301	24,939	23,031
23	49,728	41,638	38,968	37,332	36,131	35,172	32,007	28,429	26,018	24,069
24	51,179	42,980	40,270	38,609	37,389	36,415	33,196	29,553	27,096	25,106
25	52,619	44,314	41,566	39,880	38,642	37,652	34,382	30,675	28,172	26,143
26	54,051	45,642	42,856	41,146	39,889	38,885	35,563	31,795	29,246	27,179
27	55,475	46,963	44,140	42,407	41,132	40,113	36,741	32,912	30,319	28,214
28	56,892	48,278	45,419	43,662	42,370	41,337	37,916	34,027	31,391	29,249
29	58,301	49,588	46,693	44,913	43,604	42,557	39,087	35,139	32,461	30,283
30	59,702	50,892	47,962	46,160	44,834	43,773	40,256	36,250	33,530	31,316

c	$P_c(\chi^2 > u)$									
	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
1	0,455	0,275	0,148	0,064	0,016	0,004	0,003	0,001	0,001	0,000
2	1,386	1,022	0,713	0,446	0,211	0,103	0,082	0,061	0,040	0,020
3	2,366	1,869	1,424	1,005	0,584	0,352	0,300	0,245	0,185	0,115
4	3,357	2,753	2,195	1,649	1,064	0,711	0,627	0,535	0,429	0,297
5	4,351	3,656	3,000	2,343	1,610	1,145	1,031	0,903	0,752	0,554
6	5,348	4,570	3,828	3,070	2,204	1,635	1,492	1,330	1,134	0,872
7	6,346	5,493	4,671	3,822	2,833	2,167	1,997	1,802	1,564	1,239
8	7,344	6,423	5,527	4,594	3,490	2,733	2,537	2,310	2,032	1,647
9	8,343	7,357	6,393	5,380	4,168	3,325	3,105	2,848	2,532	2,088
10	9,342	8,295	7,267	6,179	4,865	3,940	3,697	3,412	3,059	2,558
11	10,341	9,237	8,148	6,989	5,578	4,575	4,309	3,997	3,609	3,053
12	11,340	10,182	9,034	7,807	6,304	5,226	4,939	4,601	4,178	3,571
13	12,340	11,129	9,926	8,634	7,041	5,892	5,584	5,221	4,765	4,107
14	13,339	12,078	10,821	9,467	7,790	6,571	6,243	5,856	5,368	4,660
15	14,339	13,030	11,721	10,307	8,547	7,261	6,914	6,503	5,985	5,229
16	15,338	13,983	12,624	11,152	9,312	7,962	7,596	7,163	6,614	5,812
17	16,338	14,937	13,531	12,002	10,085	8,672	8,288	7,832	7,255	6,408
18	17,338	15,893	14,440	12,857	10,865	9,390	8,989	8,512	7,906	7,015
19	18,338	16,850	15,352	13,716	11,651	10,117	9,698	9,200	8,567	7,633
20	19,337	17,809	16,266	14,578	12,443	10,851	10,415	9,897	9,237	8,260
21	20,337	18,768	17,182	15,445	13,240	11,591	11,140	10,601	9,915	8,897
22	21,337	19,729	18,101	16,314	14,041	12,338	11,870	11,313	10,600	9,542
23	22,337	20,690	19,021	17,187	14,848	13,091	12,607	12,030	11,293	10,196
24	23,337	21,652	19,943	18,062	15,659	13,848	13,350	12,754	11,992	10,856
25	24,337	22,616	20,867	18,940	16,473	14,611	14,098	13,484	12,697	11,524
26	25,336	23,579	21,792	19,820	17,292	15,379	14,851	14,219	13,409	12,198
27	26,336	24,544	22,719	20,703	18,114	16,151	15,609	14,959	14,125	12,878
28	27,336	25,509	23,647	21,588	18,939	16,928	16,371	15,704	14,847	13,565
29	28,336	26,475	24,577	22,475	19,768	17,708	17,138	16,454	15,574	14,256
30	29,336	27,442	25,508	23,364	20,599	18,493	17,908	17,208	16,306	14,953

Таблица П.7

Значения квантилей ν_β распределения Стьюдента $f_r(\nu) = \frac{\Gamma\left(\frac{c+1}{2}\right)}{\sqrt{\pi c} \cdot \Gamma\left(\frac{c}{2}\right)} \left(1 + \frac{\nu^2}{c}\right)^{-\frac{c+1}{2}}$

в зависимости от вероятности β попадания в интервал $(-\nu_\beta; \nu_\beta)$

и числа степеней свободы c

c	β								
	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90
1	0,158	0,325	0,510	0,727	1,000	1,376	1,963	3,078	6,314
2	0,142	0,289	0,445	0,617	0,816	1,061	1,386	1,886	2,920
3	0,137	0,277	0,424	0,584	0,765	0,978	1,250	1,638	2,353
4	0,134	0,271	0,414	0,569	0,741	0,941	1,190	1,533	2,132
5	0,132	0,267	0,408	0,559	0,727	0,920	1,156	1,476	2,015
6	0,131	0,265	0,404	0,553	0,718	0,906	1,134	1,440	1,943
7	0,130	0,263	0,402	0,549	0,711	0,896	1,119	1,415	1,895
8	0,130	0,262	0,399	0,546	0,706	0,889	1,108	1,397	1,860
9	0,129	0,261	0,398	0,543	0,703	0,883	1,100	1,383	1,833
10	0,129	0,260	0,397	0,542	0,700	0,879	1,093	1,372	1,812
11	0,129	0,260	0,396	0,540	0,697	0,876	1,088	1,363	1,796
12	0,128	0,259	0,395	0,539	0,695	0,873	1,083	1,356	1,782
13	0,128	0,259	0,394	0,538	0,694	0,870	1,079	1,350	1,771
14	0,128	0,258	0,393	0,537	0,692	0,868	1,076	1,345	1,761
15	0,128	0,258	0,393	0,536	0,691	0,866	1,074	1,341	1,753
16	0,128	0,258	0,392	0,535	0,690	0,865	1,071	1,337	1,746
17	0,128	0,257	0,392	0,534	0,689	0,863	1,069	1,333	1,740
18	0,127	0,257	0,392	0,534	0,688	0,862	1,067	1,330	1,734
19	0,127	0,257	0,391	0,533	0,688	0,861	1,066	1,328	1,729
20	0,127	0,257	0,391	0,533	0,687	0,860	1,064	1,325	1,725
21	0,127	0,257	0,391	0,532	0,686	0,859	1,063	1,323	1,721
22	0,127	0,256	0,390	0,532	0,686	0,858	1,061	1,321	1,717
23	0,127	0,256	0,390	0,532	0,685	0,858	1,060	1,319	1,714
24	0,127	0,256	0,390	0,531	0,685	0,857	1,059	1,318	1,711
25	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,316	1,708
26	0,127	0,256	0,390	0,531	0,684	0,856	1,058	1,315	1,706
27	0,127	0,256	0,389	0,531	0,684	0,855	1,057	1,314	1,703
28	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,855	1,056	1,313	1,701
29	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,311	1,699
30	0,127	0,256	0,389	0,530	0,683	0,854	1,055	1,310	1,697
40	0,126	0,255	0,388	0,529	0,681	0,851	1,050	1,303	1,684
60	0,126	0,254	0,387	0,527	0,679	0,848	1,046	1,296	1,671
120	0,126	0,254	0,386	0,526	0,677	0,845	1,041	1,289	1,658
∞	0,126	0,253	0,385	0,524	0,674	0,842	1,036	1,282	1,645

c	β								
	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99
1	7,026	7,916	9,058	10,579	12,706	15,894	21,205	31,821	63,656
2	3,104	3,320	3,578	3,896	4,303	4,849	5,643	6,965	9,925
3	2,471	2,605	2,763	2,951	3,182	3,482	3,896	4,541	5,841
4	2,226	2,333	2,456	2,601	2,776	2,999	3,298	3,747	4,604
5	2,098	2,191	2,297	2,422	2,571	2,757	3,003	3,365	4,032
6	2,019	2,104	2,201	2,313	2,447	2,612	2,829	3,143	3,707
7	1,966	2,046	2,136	2,241	2,365	2,517	2,715	2,998	3,499
8	1,928	2,004	2,090	2,189	2,306	2,449	2,634	2,896	3,355
9	1,899	1,973	2,055	2,150	2,262	2,398	2,574	2,821	3,250
10	1,877	1,948	2,028	2,120	2,228	2,359	2,527	2,764	3,169
11	1,859	1,928	2,007	2,096	2,201	2,328	2,491	2,718	3,106
12	1,844	1,912	1,989	2,076	2,179	2,303	2,461	2,681	3,055
13	1,832	1,899	1,974	2,060	2,160	2,282	2,436	2,650	3,012
14	1,821	1,887	1,962	2,046	2,145	2,264	2,415	2,624	2,977
15	1,812	1,878	1,951	2,034	2,131	2,249	2,397	2,602	2,947
16	1,805	1,869	1,942	2,024	2,120	2,235	2,382	2,583	2,921
17	1,798	1,862	1,934	2,015	2,110	2,224	2,368	2,567	2,898
18	1,792	1,855	1,926	2,007	2,101	2,214	2,356	2,552	2,878
19	1,786	1,850	1,920	2,000	2,093	2,205	2,346	2,539	2,861
20	1,782	1,844	1,914	1,994	2,086	2,197	2,336	2,528	2,845
21	1,777	1,840	1,909	1,988	2,080	2,189	2,328	2,518	2,831
22	1,773	1,835	1,905	1,983	2,074	2,183	2,320	2,508	2,819
23	1,770	1,832	1,900	1,978	2,069	2,177	2,313	2,500	2,807
24	1,767	1,828	1,896	1,974	2,064	2,172	2,307	2,492	2,797
25	1,764	1,825	1,893	1,970	2,060	2,167	2,301	2,485	2,787
26	1,761	1,822	1,890	1,967	2,056	2,162	2,296	2,479	2,779
27	1,758	1,819	1,887	1,963	2,052	2,158	2,291	2,473	2,771
28	1,756	1,817	1,884	1,960	2,048	2,154	2,286	2,467	2,763
29	1,754	1,814	1,881	1,957	2,045	2,150	2,282	2,462	2,756
30	1,752	1,812	1,879	1,955	2,042	2,147	2,278	2,457	2,750
40	1,737	1,796	1,862	1,936	2,021	2,123	2,250	2,423	2,704
60	1,723	1,781	1,845	1,917	2,000	2,099	2,223	2,390	2,660
120	1,709	1,766	1,828	1,899	1,980	2,076	2,196	2,358	2,617
∞	1,695	1,751	1,812	1,881	1,960	2,054	2,170	2,326	2,576

ПРИЛОЖЕНИЕ П.2

Образец оформления титульного листа

Федеральное агентство по образованию

Волгоградский государственный технический университет

Кафедра “Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей”

Основы теории надежности и диагностики

Семестровая работа

“Определение надежности технического объекта
по экспериментальным данным”

Выполнил (а) студент (ка)
группы _____

*Личная
подпись*

*Расшифровка
подписи*

Номер зачетной
книжки _____

Проверил

*Личная
подпись*

*Расшифровка
подписи*

Волгоград 20__

ОГЛАВЛЕНИЕ

Задание к семестровой работе	3
Варианты заданий	5
Методические указания по выполнению семестровой работы	20
Приложение П.1	40
Приложение П.2	54

Составитель *Константин Владимирович Чернышов*

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКИ

Задания и методические рекомендации по выполнению семестровой работы
“Определение надежности технического объекта по экспериментальным данным”

Темплан 2009 г. Поз. № 112

Подписано в печать 05.11.2009. Формат 60×84 1/16.
Бумага газетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,25.
Гарнитура Times. Тираж 100 экз. Заказ .

Волгоградский государственный технический университет.
400131 Волгоград, просп. им. В.И.Ленина, 28.

РПК “Политехник”
Волгоградского государственного технического университета.
400131 Волгоград, ул. Советская, 35.