

Министерство образования и науки РФ
Федеральное государственное образовательное бюджетное учреждение высшего профессионального образования
«Волгоградский государственный технический университет»
Факультет автомобильного транспорта
Кафедра «Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей»

ПРОГРАММА КУРСА

Основы теории надежности и диагностики

(наименование дисциплины)

23.03.01 – «Технология транспортных процессов»

(направление подготовки)

Профиль: «Транспортная логистика»

Факультет подготовки инженерных кадров

Форма обучения

	Заочная	Заочно-сокращенная
Курс		3
Семестр		5
Число зачетных единиц		3
Всего часов по учебному плану, час.		108
Всего часов аудиторных занятий, час.		10
Лекции, час		4
Практические занятия, час		6
Контрольная работа, шт.		1
Экзамен (семестр)		–
Зачет (курс)		3

Разработал Доцент Чернышов К. В. e-mail: chernykv@rambler.ru

Зав. кафедрой ТЭРА Захаров Е.А.

Волгоград 2017

1. Аннотация дисциплины

Целью преподавания дисциплины «Основы теории надежности и диагностики» является ознакомление студентов с основными понятиями теории надежности, в том числе количественными показателями надежности как характеристиками качества технических объектов, с методами определения количественных показателей надежности как по заданным закономерностям отказов в виде законов распределения отказов, так и по результатам испытаний и эксплуатации, с методами расчета показателей надежности технических систем по структурным схемам надежности, с методами оценки качества продукции, с методами планирования испытаний на надежность, а также с методами и средствами диагностирования технических объектов.

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- 1) ознакомиться с общими понятиями теории надежности и диагностики;
- 2) приобрести знания об основных причинах изменения технического состояния и отказов технических объектов и систем;
- 3) освоить основные теоремы и принципы теории вероятностей и статистики, используемые при оценке надежности технических объектов и систем;
- 4) освоить методы определения основных количественных показателей надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых технических объектов и систем;
- 5) изучить модели распределений, используемых при оценке надежности технических объектов и систем, и области их применения;
- 6) освоить способы определения законов распределений, а также оценки основных показателей надежности и параметров их распределений по результатам эксплуатации и экспериментальным данным;
- 7) освоить методы определения основных показателей надежности технических систем по структурным схемам с различными видами соединения элементов;
- 8) освоить методики расчета номенклатуры и количества запасных частей технических объектов и систем;
- 9) приобрести знания о целях и методах испытаний эксплуатационной надежности технических объектов и систем;
- 10) изучить цели и методы диагностирования технических объектов и систем;
- 11) ознакомиться со средствами измерения диагностических параметров и видами диагностического оборудования,
- 12) приобрести навыки в решении задач теории вероятностей и статистики;
- 13) приобрести навыки в определении основных количественных показателей надежности невосстанавливаемых и восстанавливаемых технических объектов и систем;
- 14) приобрести навыки в определении законов распределений, а также оценок основных показателей надежности и параметров их распределений по результатам экспериментов;
- 15) приобрести навыки в определении основных показателей надежности технических объектов и систем с различными видами соединения элементов в структурных схемах;
- 16) приобрести навыки в проведении расчетов требуемого количества запасных частей;
- 17) приобрести навыки в планировании статистического контроля качества продукции.

**2. Содержание учебной дисциплины
«Основы теории надежности и диагностики»**

Таблица.1

№ темы	Наименование темы
1	2
1	<p>Основные понятия теории надежности. термины и определения</p> <p>1.1. Общие понятия теории надежности. 1.2. Состояния объекта. 1.3. Классификация отказов. 1.4. Техническое обслуживание и ремонт. 1.5. Временные понятия теории надежности.</p>
2	<p>Физические причины изменения технического состояния и отказов технических объектов и систем</p> <p>2.1. Причины изменения технического состояния и отказов механических систем. 2.2. Причины изменения технического состояния и отказов гидравлических и пневматических систем. 2.3. Причины изменения технического состояния и отказов электрических систем и систем электронного оборудования.</p>
3	<p>Основы теории вероятностей и статистики, используемые в теории надежности и диагностики</p> <p>3.1. Общие понятия теории вероятностей. 3.2. Вероятность события и частота события. 3.3. Вероятность определенного сочетания элементов различных типов в выборке. 3.4. Вероятность совместного появления событий. 3.5. Вероятность появления одного из несовместных событий. 3.6. Вероятность появления хотя бы одного из совместных событий. 3.7. Формула полной вероятности. 3.8. Формула Байеса. 3.9. Формула Бернулли. 3.10. Распределение дискретных случайных величин. Вероятностное и статистическое выражение законов распределения. 3.11. Распределение непрерывных случайных величин. Вероятностное и статистическое выражение законов распределения. 3.12. Числовые характеристики дискретных и непрерывных случайных величин. Вероятностные и статистические методы определения числовых характеристик. 3.13. Моменты случайных величин. Вероятностные и статистические методы их определения. 3.14. Точечные и интервальные оценки вероятностных величин. Свойства точечных оценок. 3.15. Точечные и интервальные оценки вероятностных величин. Интервальная оценка математического ожидания случайной величины. 3.16. Точечные и интервальные оценки вероятностных величин. Интервальная оценка вероятности события. 3.17. Равномерное дискретное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики равномерного дискретного распределения. 3.18. Гипергеометрическое распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики гипергеометрического распределения. 3.19. Геометрическое распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики геометрического распределения.</p>

1	2
	<p>3.20. Биномиальное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики биномиального распределения.</p> <p>3.21. Распределение Пуассона. Параметры и числовые характеристики распределения Пуассона.</p> <p>3.22. Потoki событий и их основные характеристики. Распределение времени между событиями в потоке. Простейший поток событий и его особенности.</p> <p>3.23. Нормальное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики нормального распределения.</p> <p>3.24. Равномерное непрерывное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики равномерного непрерывного распределения.</p> <p>3.25. Определение закона распределения случайной величины по статистическим данным. Методы определения параметров выбранного закона.</p> <p>3.26. Определение закона распределения случайной величины по статистическим данным. Проверка правдоподобия гипотезы о выбранном законе.</p>
4	<p>Показатели надежности технических объектов и методы их определения</p> <p>4.1. Показатели надежности и их классификация.</p> <p>4.2. Нарabотка на отказ. Поток отказов. Показатели надежности восстанавливаемого объекта.</p> <p>4.3. Нарabотка до отказа и характеристики ее распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.</p> <p>4.4. Экспоненциальное распределение нарabотки.</p> <p>4.5. Распределение Вейбулла.</p> <p>4.6. Нормальный закон распределения нарabотки.</p> <p>4.7. Ресурс и срок службы и характеристики их распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.</p> <p>4.8. Время восстановления и характеристики его распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.</p> <p>4.9. Срок сохраняемости и характеристики его распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.</p> <p>4.10. Комплексные показатели надежности. Вероятностные и статистические методы определения показателей.</p> <p>4.11. Интервальная оценка вероятности безотказной работы и вероятности отказа по частоте отказов при условии ее нормального распределения.</p> <p>4.12. Интервальная оценка вероятности безотказной работы и вероятности отказа по частоте отказов при условии биномиального распределения числа отказов.</p> <p>4.13. Односторонние доверительные пределы для функции надежности при биномиальном распределении и распределении Пуассона.</p>
5	<p>Основы теории резервирования</p> <p>5.1. Основные понятия теории резервирования.</p> <p>5.2. Основные виды и способы резервирования.</p> <p>5.3. Структурные схемы надежности. Виды соединения элементов в структурных схемах надежности.</p> <p>5.4. Расчет надежности системы с основным соединением элементов.</p> <p>5.5. Расчет надежности системы с постоянным резервированием с кратностью $n/1$ (с параллельным соединением элементов).</p> <p>5.6. Расчет надежности мажоритарного соединения элементов и мостовой схемы соединения элементов.</p> <p>5.7. Расчет надежности при резервировании замещением с кратностью $n/1$.</p> <p>5.8. Расчет надежности при скользящем резервировании.</p> <p>5.9. Расчет показателей надежности по заданному критерию при нагрузочном резервировании.</p> <p>5.10. Выбор номенклатуры состава запасных частей.</p> <p>5.11. Методы расчета количественного состава ЗИП.</p>

1	2
6	<p>Обеспечение, определение и контроль надежности</p> <p>6.1. Обеспечение надежности объекта на стадии проектирования. Методы распределения требований по надежности между элементами системы.</p> <p>6.2. Методы определения и контроля надежности технических объектов.</p> <p>6.3. Цель и виды испытаний технических объектов на надежность.</p> <p>6.4. Планы испытаний по определению надежности технических систем (планы определительных испытаний на надежность).</p> <p>6.5. Планирование статистического непараметрического контроля качества продукции, основанного на фиксированном объеме.</p> <p>6.6. Планирование статистического непараметрического контроля качества продукции, основанного на последовательном анализе.</p> <p>6.7. Планирование статистического параметрического контроля качества продукции, основанного на фиксированном объеме.</p> <p>6.8. Планирование статистического параметрического контроля качества продукции, основанного на последовательном анализе.</p> <p>6.9. Ускоренные испытания на надежность.</p>
7	<p>Диагностирование технических объектов и систем</p> <p>7.1. Диагностика. Основные термины и определения.</p> <p>7.2. Цели и методы диагностирования.</p> <p>7.3. Технические средства диагностирования.</p> <p>7.4. Определение технического состояния на основе прямых диагностических параметров и признаков.</p> <p>7.5. Определение вероятности технического состояния на основе косвенных диагностических параметров и признаков.</p>

3. Практические занятия

Таблица.2

Номер занятия	Тема практического занятия	Объем, час.	
		Заочная	Заочно-сокращ.
1	Определение вероятностей случайных событий. Построение функций распределения и определение числовых характеристик дискретных и непрерывных случайных величин.		1
2	Определение количественных показателей надежности объектов с заданным законом распределения наработки до отказа. Определение количественных показателей надежности восстанавливаемых объектов. Определение интервальных оценок показателей надежности		2
3	Определение количественных показателей надежности объектов при различных видах структурного резервирования. Определение количественных показателей надежности объектов при нагрузочном резервировании. Определение количественных показателей надежности объектов расчетными методами. Расчет оптимального распределения требуемых показателей надежности между элементами технического объекта		1
4	Непараметрический контроль качества продукции. Параметрический контроль качества продукции		1
5	Определение вероятности технического состояния на основе косвенных диагностических параметров и признаков.		1
ИТОГО			6

4. Самостоятельная работа студентов

В течение семестра студенты выполняют контрольную работу «Определение надежности технического объекта по экспериментальным данным». Выполненная контрольная работа должна быть зарегистрирована в деканате ФПИК не позднее, чем за 1 неделю до зачетно-экзаменационной сессии.

В таблице, соответствующей варианту индивидуального задания, (табл. 5) представлены результаты испытаний n образцов некоторого технического объекта в течение времени $t_{\text{исп}}$. Предлагается, используя эти результаты, выполнить следующие пять этапов.

Этап 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 $\hat{\lambda}(t)$.

Этап 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.

Этап 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.

Этап 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 3. Например, номеру зачетной книжки 596784 соответствует вариант задания 8.

Таблица 3

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

Этап 5

Определить границы доверительного интервала T_H и T_B оценки средней наработки объекта при доверительной вероятности β , а также доверительные границы оценки вероятности безотказной работы r_H и r_B и отказа q_H и q_B объекта за время t_* при той же доверительной вероятности.

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

Таблица 4

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

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

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

Таблица 5

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. 5

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. 5

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	1	–	–	–	–	–		
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. 5

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. 5

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. 5

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. 5

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. 5

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	3	–	–	–	–		
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. 5

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. 5

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. 5

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	–	–	–	–	–		

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. 5

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. 5

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	-	-	-	-		

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_{j_2} , ч	250	275	300	325	350	375	400	425	450	475	500	525	–	–	–	330	330
	Число отказов Δm_j	0	1	9	15	45	71	87	65	27	6	3	1	–	–	–		
195, 395, 595, 795, 995	Время наблюдения t_{j_2} , ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	88	96	112	–	–	840	2
	Число отказов Δm_j	353	216	101	69	52	17	14	8	5	2	1	1	1	–	–		
196, 396, 596, 796, 996	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120	–	–	–	390	4
	Число отказов Δm_j	143	108	58	31	18	12	9	5	3	2	0	1	–	–	–		
197, 397, 597, 797, 997	Время наблюдения t_{j_2} , ч	25	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	–	–	–	–	210	120
	Число отказов Δm_j	0	2	10	12	32	43	50	37	16	4	4	–	–	–	–		
198, 398, 598, 798, 998	Время наблюдения t_{j_2} , ч	8	16	24	32	40	48	56	64	72	80	–	–	–	–	–	350	2
	Число отказов Δm_j	165	97	42	17	12	7	6	2	1	1	–	–	–	–	–		
199, 399, 599, 799, 999	Время наблюдения t_{j_2} , ч	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000	1100	–	–	–	–	290	20
	Число отказов Δm_j	118	71	34	27	15	10	7	4	2	1	1	–	–	–	–		
200, 400, 600, 800, 000	Время наблюдения t_{j_2} , ч	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	–	–	–	–	330	25
	Число отказов Δm_j	6	12	33	49	62	79	46	23	13	5	2	–	–	–	–		

Работа выполняется на листах формата А4 писчей бумаги, с одной стороны.

Рамка на листах не выполняется, обязательными являются поля - слева 25 мм, снизу и сверху - 20 мм, справа - 10 мм.

Список использованной литературы ко всей работе оформляется на отдельном листе.

Перед сдачей работы на проверку все материалы брошюруются любым способом, исключаяющим ее разъединение, дополняются титульным листом и списком использованной литературы.

Пример выполнения работы приведен в приложении 1.

5. Экзаменационные вопросы

1. Общие понятия теории надежности.
2. Состояния объекта.
3. Классификация отказов.
4. Техническое обслуживание и ремонт.
5. Временные понятия теории надежности.
6. Причины изменения технического состояния и отказов механических систем.
7. Причины изменения технического состояния и отказов гидравлических и пневматических систем.
8. Причины изменения технического состояния и отказов электрических систем и систем электронного оборудования.
9. Общие понятия теории вероятностей.
10. Вероятность события и частота события.
11. Вероятность определенного сочетания элементов различных типов в выборке.
12. Вероятность совместного появления событий.
13. Вероятность появления одного из несовместных событий.
14. Вероятность появления хотя бы одного из совместных событий.
15. Формула полной вероятности.
16. Формула Байеса.
17. Формула Бернулли.
18. Распределение дискретных случайных величин. Вероятностное и статистическое выражение законов распределения.
19. Распределение непрерывных случайных величин. Вероятностное и статистическое выражение законов распределения.
20. Числовые характеристики дискретных и непрерывных случайных величин. Вероятностные и статистические методы определения числовых характеристик.
21. Моменты случайных величин. Вероятностные и статистические методы их определения.
22. Равномерное непрерывное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики равномерного непрерывного распределения.
23. Равномерное дискретное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики равномерного дискретного распределения.
24. Гипергеометрическое распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики гипергеометрического распределения.
25. Геометрическое распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики геометрического распределения.
26. Биномиальное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики биномиального распределения.
27. Распределение Пуассона. Параметры и числовые характеристики распределения Пуассона.
28. Потоки событий и их основные характеристики. Распределение времени между событиями в потоке. Простейший поток событий и его особенности.
29. Распределение Эрланга. Параметры и числовые характеристики распределения Эрланга.
30. Нормальное распределение случайной величины. Параметры и числовые характеристики нормального распределения.
31. Определение закона распределения случайной величины по статистическим данным. Методы определения параметров выбранного закона.
32. Определение закона распределения случайной величины по статистическим данным. Проверка правдоподобия гипотезы о выбранном законе.
33. Точечные и интервальные оценки вероятностных величин. Свойства точечных оценок.
34. Точечные и интервальные оценки вероятностных величин. Интервальная оценка математического ожидания случайной величины.

35. Точечные и интервальные оценки вероятностных величин. Интервальная оценка вероятности события.
36. Показатели надежности и их классификация.
37. Нарботка на отказ. Поток отказов. Показатели надежности восстанавливаемого объекта.
38. Нарботка до отказа и характеристики ее распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.
39. Экспоненциальное распределение наработки.
40. Распределение Вейбулла.
41. Нормальный закон распределения наработки.
42. Ресурс и срок службы и характеристики их распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.
43. Время восстановления и характеристики его распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.
44. Срок сохраняемости и характеристики его распределения. Вероятностные и статистические методы определения характеристик.
45. Комплексные показатели надежности. Вероятностные и статистические методы определения показателей.
46. Интервальная оценка вероятности безотказной работы и вероятности отказа по частоте отказов при условии ее нормального распределения.
47. Интервальная оценка вероятности безотказной работы и вероятности отказа по частоте отказов при условии ее биномиального распределения.
48. Односторонние доверительные пределы для функции надежности при биномиальном распределении и распределении Пуассона.
49. Основные понятия теории резервирования.
50. Основные виды и способы резервирования.
51. Структурные схемы надежности. Виды соединения элементов в структурных схемах надежности.
52. Расчет надежности системы с основным соединением элементов.
53. Расчет надежности системы с постоянным резервированием с кратностью $n/1$ (с параллельным соединением элементов).
54. Расчет надежности мажоритарного соединения элементов и мостовой схемы соединения элементов.
55. Расчет надежности при резервировании замещением с кратностью $n/1$.
56. Расчет надежности при скользящем резервировании.
57. Выбор номенклатуры состава запасных частей.
58. Методы расчета количественного состава ЗИП.
59. Расчет показателей надежности по заданному критерию при нагрузочном резервировании.
60. Обеспечение надежности объекта на стадии проектирования. Методы распределения требований по надежности между элементами системы.
61. Методы определения и контроля надежности технических объектов.
62. Цель и виды испытаний технических объектов на надежность.
63. Планы испытаний по определению надежности технических систем (планы определяющих испытаний на надежность).
64. Планирование статистического непараметрического контроля качества продукции, основанного на фиксированном объеме.
65. Планирование статистического непараметрического контроля качества продукции, основанного на последовательном анализе.
66. Планирование статистического параметрического контроля качества продукции, основанного на фиксированном объеме.

67. Планирование статистического параметрического контроля качества продукции, основанного на последовательном анализе.
68. Ускоренные испытания на надежность.
69. Диагностика. Основные термины и определения.
70. Цели и методы диагностирования.
71. Технические средства диагностирования.
72. Определение технического состояния на основе прямых диагностических параметров и признаков.
73. Определение вероятности технического состояния на основе косвенных диагностических параметров и признаков.

6. Рекомендуемая литература

1. Половко, А. М. Основы теории надежности / А. М. Половко, С. В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 704 с.
2. Половко, А. М. Основы теории надежности: практикум / А. М. Половко, С. В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2006. – 560 с.
3. Яхьяев, Н.А. Основы теории надежности и диагностика: учебник для вузов / Н.А. Яхьяев, А.В. Кораблин. – М.: Академия, 2009 г. – 256 с.
4. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 39 с.
5. ГОСТ 20911-89. Техническая диагностика. Термины и определения. – М.: Издательство стандартов, 1990. – 12 с.
6. ГОСТ 27518-87. Диагностирование изделий. Общие требования. – М.: Издательство стандартов, 1987. – 8 с.
7. 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.
8. 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.
9. Труханов, В. М. Надежность в технике / В. М. Труханов. – М.: Машиностроение, 1999. – 598 с.
10. Чернышов, К. В. Показатели надежности технических систем: наработка до отказа, ресурс, срок службы: учеб. пособ. / К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 80 с.

8. Перечень методических указаний

1. Чернышов, К. В. Основы теории надежности и диагностика. Определение надежности технического объекта по экспериментальным данным: метод. указ. к выполнению семестр. работы / К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009. – 56 с.
2. Непараметрический контроль качества продукции. Методические рекомендации по планированию испытаний / К. В. Чернышов, В. В. Еронтаев; Волгоградский государственный технический университет. – Волгоград, 2016. – 28 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Пример выполнения контрольной работы

Министерство образования и науки Российской Федерации

Волгоградский государственный технический университет

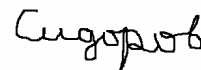
Кафедра “Техническая эксплуатация и ремонт автомобилей”

Основы теории надежности и диагностики

Семестровая работа

“Определение надежности технического объекта по экспериментальным
данным”

Выполнил студент
группы Сидоров А.С.



Номер зачетной
книжки 000201184

Проверил
доцент Чернышов К.В.

Волгоград 2017

1. Построение статистических графиков функции распределения наработки технического объекта и функции надежности, гистограммы наработки и статистического графика интенсивности отказов

Данные испытаний в течение $t_{исп} = 70$ ч $n = 100$ аналогичных объектов представлены в таблице.

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
t_j	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
Δm_j	0	1	0	3	8	14	26	19	14	8	4	2	0	1

Здесь t_j – время наблюдения, когда подсчитывается количество Δm_j объектов, отказавших с момента t_{j-1} последнего наблюдения (то есть в интервале $(t_{j-1}; t_j)$). В первой строке указан порядковый номер наблюдения (интервала).

Поскольку в таблицу входят интервалы, не содержащие отказов, составим новый вариационный ряд, в котором эти интервалы объединены с соседними, находящимися дальше от центра рассеяния. Таким образом, третий интервал объединяется со вторым, а тринадцатый – с четырнадцатым. Первый интервал, не содержащий отказов, можно исключить.

$t_{j-1}; t_j$	5; 15	15; 20	20; 25	25; 30	30; 35	35; 40	40; 45	45; 50	50; 55	55; 60	60; 70
Δm_j	1	3	8	14	26	19	14	8	4	2	1
q_j^*	0,01	0,03	0,08	0,14	0,26	0,19	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01

Здесь $q_j^* = \frac{\Delta m_j}{n}$ – относительная частота отказов в j -ом интервале.

Определим значения статистической функции распределения на границах вариационного ряда по формулам: $\hat{F}(t_0) = 0$; $\hat{F}(t_1) = \frac{\Delta m_1}{n}$; $\hat{F}(t_2) = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2}{n}$;

$\hat{F}(t_3) = \frac{\Delta m_1 + \Delta m_2 + \Delta m_3}{n}$; ...; $\hat{F}(t_k) = 1$. В соответствии с приведенными форму-

лами, $\hat{F}(5) = 0$; $\hat{F}(15) = \frac{1}{100} = 0,01$; $\hat{F}(20) = \frac{1+3}{100} = 0,04$; $\hat{F}(25) = \frac{1+3+8}{100} = 0,12$;

$\hat{F}(30) = \frac{1+3+8+14}{100} = 0,26$; $\hat{F}(35) = \frac{1+3+8+14+26}{100} = 0,52$;

$\hat{F}(40) = \frac{1+3+8+14+26+19}{100} = 0,71$; $\hat{F}(45) = \frac{1+3+8+14+26+19+14}{100} = 0,85$;

$\hat{F}(50) = \frac{1+3+8+14+26+19+14+8}{100} = 0,93$;

$\hat{F}(55) = \frac{1+3+8+14+26+19+14+8+4}{100} = 0,97$;

$\hat{F}(60) = \frac{1+3+8+14+26+19+14+8+4+2}{100} = 0,99$;

$\hat{F}(70) = \frac{1+3+8+14+26+19+14+8+4+2+1}{100} = 1$.

График статистической функции распределения наработки приведен на рис. 1. Этот график является одной из зависимостей, определяющих закон распределения наработки.

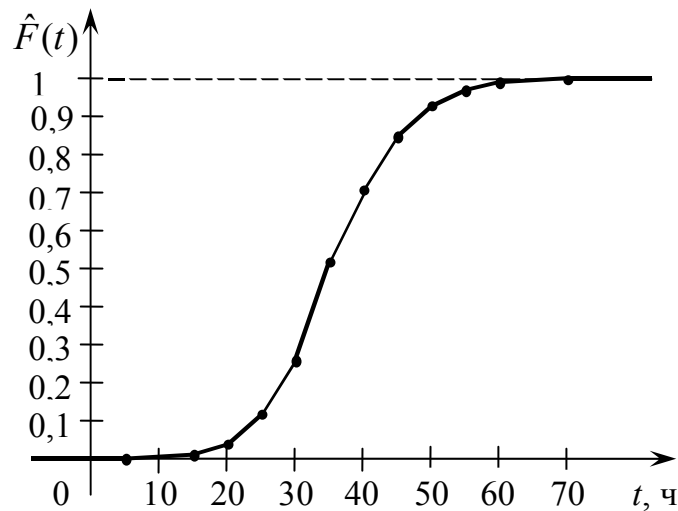


Рис. 1. График статистической функции распределения наработки

О законе распределения наработки можно судить также по виду статистической функции надежности.

Значения функции надежности на границах интервалов ряда: $\hat{R}(t_0) = 1$; $\hat{R}(t_1) = 1 - \hat{F}(t_1)$; $\hat{R}(t_2) = 1 - \hat{F}(t_2)$; ...; $\hat{R}(t_k) = 0$ (стр. 9). Следовательно, $\hat{R}(5) = 1$; $\hat{R}(15) = 1 - 0,01 = 0,99$; $\hat{R}(20) = 1 - 0,04 = 0,96$; $\hat{R}(25) = 1 - 0,12 = 0,88$; $\hat{R}(30) = 1 - 0,26 = 0,74$; $\hat{R}(35) = 1 - 0,52 = 0,48$; $\hat{R}(40) = 1 - 0,71 = 0,29$; $\hat{R}(45) = 1 - 0,85 = 0,15$; $\hat{R}(50) = 1 - 0,93 = 0,07$; $\hat{R}(55) = 1 - 0,97 = 0,03$; $\hat{R}(60) = 1 - 0,99 = 0,01$; $\hat{R}(70) = 0$.

График статистической функции распределения наработки приведен на рис. 2.

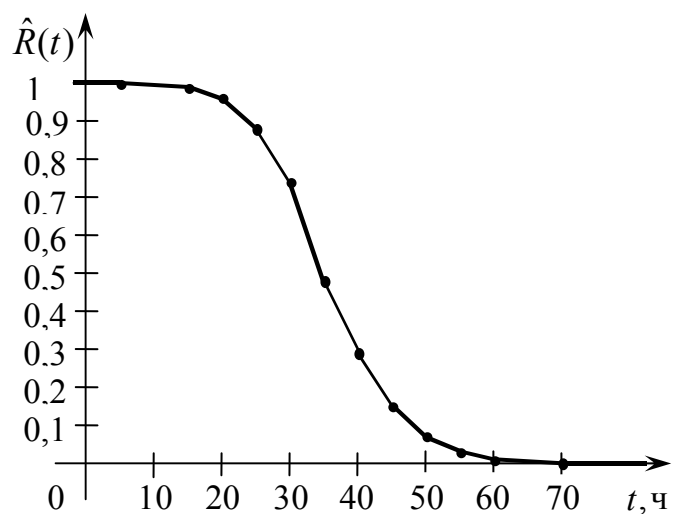


Рис. 2. График статистической функции надежности

Чтобы получить более полное представление о распределении наработки, построим гистограмму, представляющую статистический график плотности распределения. Для этого необходимо определить значения статистической плотности на каждом интервале:

$$\hat{f}(\Delta t_j) = \frac{q_j^*}{\Delta t_j} = \frac{\Delta m_j}{\Delta t_j n}.$$

Тогда

$$\hat{f}(\Delta t_1) = \frac{0,01}{10} = 0,001 \text{ ч}^{-1}; \quad \hat{f}(\Delta t_2) = \frac{0,03}{5} = 0,006 \text{ ч}^{-1};$$

$$\hat{f}(\Delta t_3) = \frac{0,08}{5} = 0,016 \text{ ч}^{-1}; \quad \hat{f}(\Delta t_4) = \frac{0,14}{5} = 0,028 \text{ ч}^{-1};$$

$$\hat{f}(\Delta t_5) = \frac{0,26}{5} = 0,052 \text{ ч}^{-1}; \quad \hat{f}(\Delta t_6) = \frac{0,19}{5} = 0,038 \text{ ч}^{-1};$$

$$\hat{f}(\Delta t_7) = \frac{0,14}{5} = 0,028 \text{ ч}^{-1}; \quad \hat{f}(\Delta t_8) = \frac{0,08}{5} = 0,016 \text{ ч}^{-1};$$

$$\hat{f}(\Delta t_9) = \frac{0,04}{5} = 0,008 \text{ ч}^{-1}; \quad \hat{f}(\Delta t_{10}) = \frac{0,02}{5} = 0,004 \text{ ч}^{-1};$$

$$\hat{f}(\Delta t_{11}) = \frac{0,01}{10} = 0,001 \text{ ч}^{-1}.$$

Гистограмма наработки представлена на рис. 3.

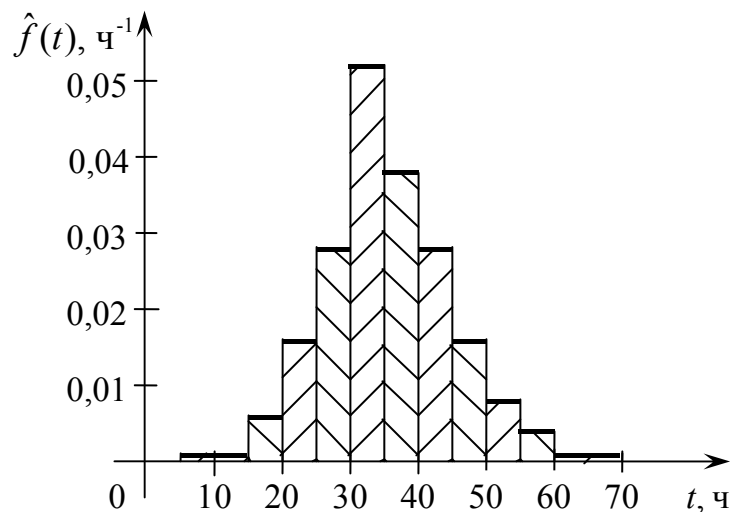


Рис. 3. Гистограмма распределения наработки

Большую помощь в определении вида наработки объекта может оказать график статистической функции интенсивности отказов. Для построения этого графика можно использовать формулу

$$\hat{\lambda}(\bar{t}_j) = \frac{\Delta m_j}{\Delta t_j \cdot \left(n - \frac{m_{j-1} + m_j}{2} \right)}.$$

Эту формулу можно записать в виде

$$\hat{\lambda}(\bar{t}_j) = \frac{\Delta m_j}{\Delta t_j \cdot \left(n - m_{j-1} - \frac{\Delta m_j}{2} \right)}.$$

Здесь $n - \frac{m_{j-1} + m_j}{2} = n - m_{j-1} - \frac{\Delta m_j}{2}$ представляет собой число объектов, не отказавших к середине рассматриваемого интервала. Таким образом,

$$\begin{aligned} \hat{\lambda}(\bar{t}_1) &= \frac{1}{10 \cdot \left(100 - 0 - \frac{1}{2} \right)} \approx 0,001 \text{ ч}^{-1}; & \hat{\lambda}(\bar{t}_2) &= \frac{3}{5 \cdot \left(100 - 1 - \frac{3}{2} \right)} \approx 0,006 \text{ ч}^{-1}; \\ \hat{\lambda}(\bar{t}_3) &= \frac{8}{5 \cdot \left(100 - 4 - \frac{8}{2} \right)} \approx 0,017 \text{ ч}^{-1}; & \hat{\lambda}(\bar{t}_4) &= \frac{14}{5 \cdot \left(100 - 12 - \frac{14}{2} \right)} \approx 0,035 \text{ ч}^{-1}; \\ \hat{\lambda}(\bar{t}_5) &= \frac{26}{5 \cdot \left(100 - 26 - \frac{26}{2} \right)} \approx 0,085 \text{ ч}^{-1}; & \hat{\lambda}(\bar{t}_6) &= \frac{19}{5 \cdot \left(100 - 52 - \frac{19}{2} \right)} \approx 0,099 \text{ ч}^{-1}; \\ \hat{\lambda}(\bar{t}_7) &= \frac{14}{5 \cdot \left(100 - 71 - \frac{14}{2} \right)} \approx 0,127 \text{ ч}^{-1}; & \hat{\lambda}(\bar{t}_8) &= \frac{8}{5 \cdot \left(100 - 85 - \frac{8}{2} \right)} \approx 0,145 \text{ ч}^{-1}; \\ \hat{\lambda}(\bar{t}_9) &= \frac{4}{5 \cdot \left(100 - 93 - \frac{4}{2} \right)} = 0,16 \text{ ч}^{-1}; & \hat{\lambda}(\bar{t}_{10}) &= \frac{2}{5 \cdot \left(100 - 97 - \frac{2}{2} \right)} = 0,2 \text{ ч}^{-1}; \\ \hat{\lambda}(\bar{t}_{11}) &= \frac{1}{10 \cdot \left(100 - 99 - \frac{1}{2} \right)} = 0,2 \text{ ч}^{-1}. \end{aligned}$$

График, построенный по полученным значениям, изображен на рис. 4.

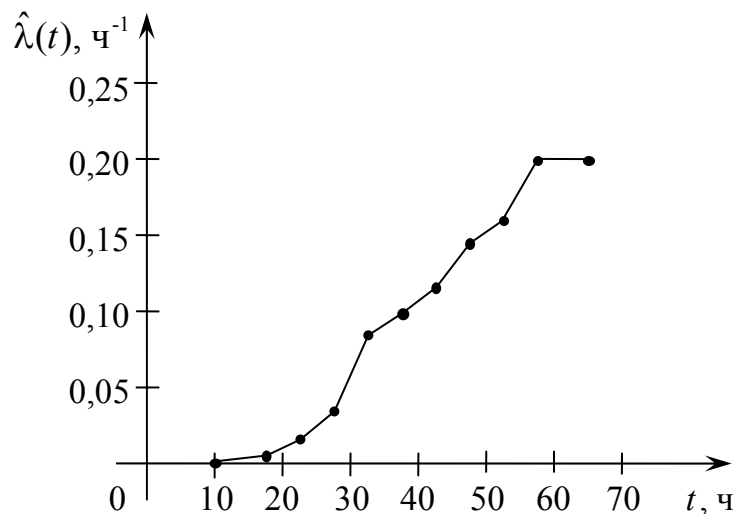


Рис. 4. График статистической функции интенсивности отказов

2. Выбор наиболее подходящего закона распределения наработки объекта и проверка гипотезы о выбранном законе

По виду статистической функции распределения, статистической функции надежности, гистограммы и статистической функции интенсивности отказов можно предположить, что наработка до отказа распределена либо по нормальному закону, либо по закону Вейбулла с параметром формы, большим единицы.

Как нормальное распределение, так и распределение Вейбулла содержат два параметра. Поэтому для определения значений параметров методом моментов определим статистические значения двух моментов: первого начального и второго центрального, то есть математического ожидания и дисперсии наработки.

Статистическое значение математического ожидания (средней наработки)

$$\hat{T}_0 = \sum_{j=1}^k q_j^* \bar{t}_j.$$

Средние значения в интервалах

$$\begin{aligned} \bar{t}_1 &= \frac{t_0 + t_1}{2} = \frac{5 + 15}{2} = 10 \text{ ч}; & \bar{t}_2 &= \frac{t_1 + t_2}{2} = \frac{15 + 20}{2} = 17,5 \text{ ч}; \\ \bar{t}_3 &= \frac{t_2 + t_3}{2} = \frac{20 + 25}{2} = 22,5 \text{ ч}; & \bar{t}_4 &= \frac{t_3 + t_4}{2} = \frac{25 + 30}{2} = 27,5 \text{ ч}; \\ \bar{t}_5 &= \frac{t_4 + t_5}{2} = \frac{30 + 35}{2} = 32,5 \text{ ч}; & \bar{t}_6 &= \frac{t_5 + t_6}{2} = \frac{35 + 40}{2} = 37,5 \text{ ч}; \\ \bar{t}_7 &= \frac{t_6 + t_7}{2} = \frac{40 + 45}{2} = 42,5 \text{ ч}; & \bar{t}_8 &= \frac{t_7 + t_8}{2} = \frac{45 + 50}{2} = 47,5 \text{ ч}; \\ \bar{t}_9 &= \frac{t_8 + t_9}{2} = \frac{50 + 55}{2} = 52,5 \text{ ч}; & \bar{t}_{10} &= \frac{t_9 + t_{10}}{2} = \frac{55 + 60}{2} = 57,5 \text{ ч}; \\ \bar{t}_{11} &= \frac{t_{10} + t_{11}}{2} = \frac{60 + 70}{2} = 65 \text{ ч}. \end{aligned}$$

Тогда

$$\begin{aligned} \hat{T}_0 &= 0,01 \cdot 10 + 0,03 \cdot 17,5 + 0,08 \cdot 22,5 + 0,14 \cdot 27,5 + 0,26 \cdot 32,5 + 0,19 \cdot 37,5 + 0,14 \cdot 42,5 + \\ &+ 0,08 \cdot 47,5 + 0,04 \cdot 52,5 + 0,02 \cdot 57,5 + 0,01 \cdot 65 = 35,5 \text{ ч}. \end{aligned}$$

Статистическая дисперсия по данным вариационного ряда может быть определена по формуле

$$\hat{\sigma}_t^2 = \hat{D}_t = \frac{n}{n-1} \cdot \left[\sum_{j=1}^k \bar{t}_j^2 q_j^* - \hat{T}_0^2 \right].$$

Следовательно,

$$\begin{aligned} \hat{\sigma}_t^2 &= \frac{100}{100-1} \cdot \left[0,01 \cdot 10^2 + 0,03 \cdot 17,5^2 + 0,08 \cdot 22,5^2 + 0,14 \cdot 27,5^2 + 0,26 \cdot 32,5^2 + 0,19 \cdot 37,5^2 + \right. \\ &+ 0,14 \cdot 42,5^2 + 0,08 \cdot 47,5^2 + 0,04 \cdot 52,5^2 + 0,02 \cdot 57,5^2 + 0,01 \cdot 65^2 - 35,5^2 \left. \right] \approx 91,035 \text{ ч}^2. \end{aligned}$$

а). Рассмотрим гипотезу о нормальном распределении наработки.

Плотность распределения нормального закона выражается формулой

$$f(t) = \frac{1}{\sigma_t \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_0)^2}{2\sigma_t^2}},$$

которая включает в себя два параметра: математическое ожидание наработки до отказа T_0 и ее среднеквадратическое отклонение $\sigma_t = \sqrt{D_t}$.

Согласно методу моментов, делаем следующее допущение: $T_0 = \hat{T}_0$, $D_t = \hat{\sigma}_t^2$.

Таким образом, в соответствии с допущением,

$$T_0 = 35,5 \text{ ч}; \quad \sigma_t \approx \sqrt{91,035} \approx 9,541 \text{ ч}.$$

Подставим эти значения в формулы функции нормального распределения:

$$F(t) = \frac{1}{9,541\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-35,5)^2}{2 \cdot 9,541^2}} dt,$$

функции надежности для случая нормального распределения:

$$R(t) = 1 - \frac{1}{9,541\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-35,5)^2}{2 \cdot 9,541^2}} dt,$$

плотности нормального распределения:

$$f(t) = \frac{1}{9,541\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-35,5)^2}{2 \cdot 9,541^2}},$$

интенсивности отказов для случая нормального распределения:

$$R(t) = 1 - \frac{1}{9,541\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t-35,5)^2}{2 \cdot 9,541^2}} dt.$$

По полученным формулам можно построить соответствующие кривые. Для этого обычно используют границы интервалов статистического ряда:

t_j	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
$F(t)$	0,001	0,016	0,052	0,136	0,282	0,479	0,682	0,840	0,936	0,980	0,995	1,000
$R(t)$	0,999	0,984	0,948	0,864	0,718	0,521	0,318	0,160	0,064	0,020	0,005	0,000
$f(t)$	0,000	0,004	0,011	0,023	0,035	0,042	0,037	0,025	0,013	0,005	0,002	0,000
$\lambda(t)$	0,000	0,004	0,012	0,026	0,049	0,080	0,118	0,159	0,205	0,253	0,302	0,405

На рис. 5 – 8 представлены графики статистических характеристик с наложенными на них соответствующими выравнивающими кривыми.

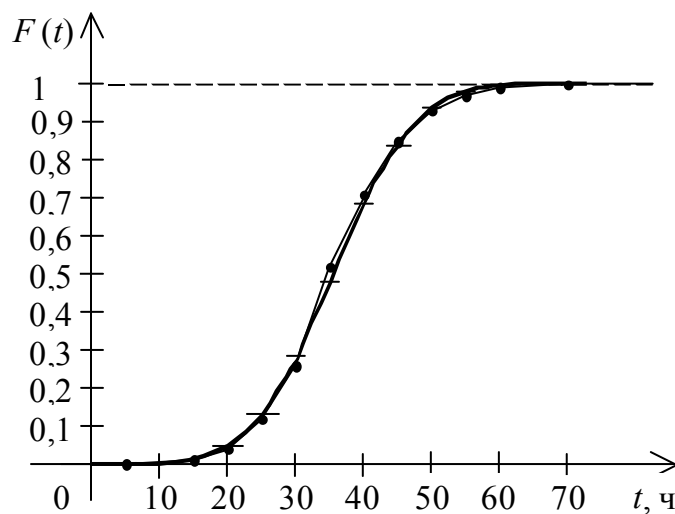


Рис. 5. График функции распределения наработки по нормальному закону

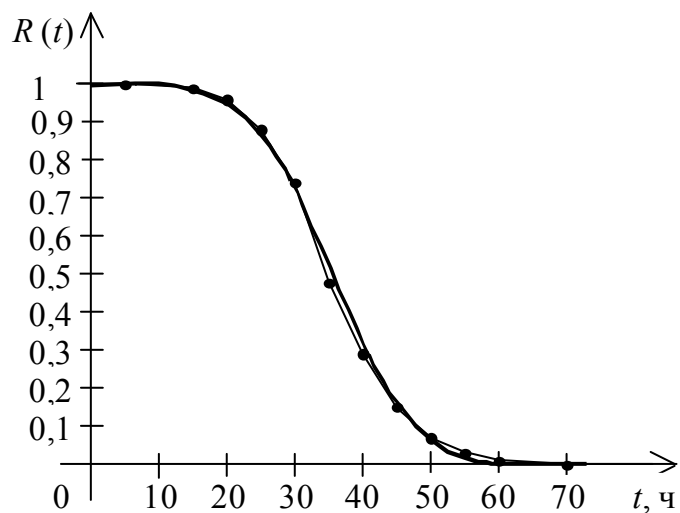


Рис. 6. График функции надежности при нормальном законе распределения

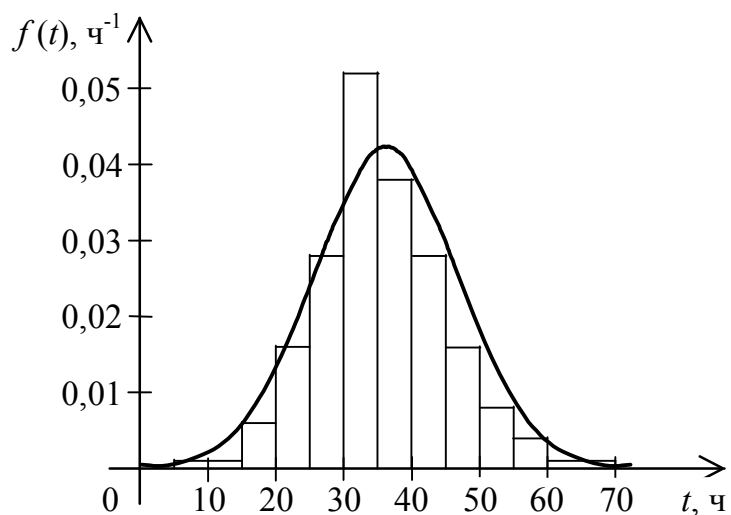


Рис. 7. График плотности распределения наработки по нормальному закону

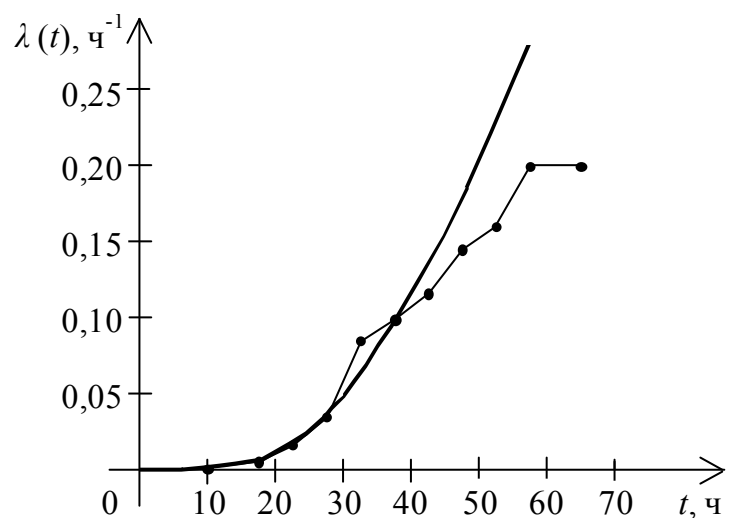


Рис. 8. График функции интенсивности отказов при нормальном законе распределения

б). Рассмотрим гипотезу о распределении наработки по закону Вейбулла.

Параметрами распределения Вейбулла являются параметр формы η и параметр масштаба μ . Средняя наработка и дисперсия наработки в случае распределения Вейбулла связаны с параметрами распределения следующим образом:

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

Коэффициент вариации распределения Вейбулла

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

Таким образом, метод моментов для распределения Вейбулла можно свести к следующему. Приравниваем статистическое значение коэффициента вариации \hat{v}_t точному значению коэффициента вариации v_t , по табл. П.6 приложения 2 находим значение параметра формы, а затем находим значение коэффициента масштаба с помощью формулы

$$\mu = \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\eta}\right)}{T_0} \right)^\eta.$$

Статистическое значение коэффициента вариации

$$\hat{v}_t = \frac{\hat{\sigma}_t}{\hat{T}_0} \approx \frac{9,541}{35,5} \approx 0,269.$$

В соответствии с табл. П.6 приложения 2, коэффициенту вариации $v_x = 0,268$ соответствует значение параметра формы 4,19. То есть, статистическое значение параметра формы $\hat{\eta} = 4,19$. Тогда статистический параметр масштаба

$$\hat{\mu} \approx \left(\frac{\Gamma\left(1 + \frac{1}{4,19}\right)}{35,5} \right)^{4,19} \approx \left(\frac{0,909}{35,5} \right)^{4,19} \approx 0,000000214 \text{ ч}^{-1}.$$

Здесь значение гамма-функции $\Gamma\left(1 + \frac{1}{4,19}\right) \approx \Gamma(1,239) \approx 0,909$ определено с помощью табл. П.4 приложения 2.

Сделаем допущение: $\eta = 4,19$, $\mu = 0,000000214 \text{ ч}^{-1}$.

Таким образом, функция распределения Вейбулла для рассматриваемого случая

$$F(t) = 1 - e^{-\mu t^\eta} = 1 - e^{-0,000000214 t^{4,19}},$$

функция надежности

$$R(t) = e^{-\mu t^\eta} = e^{-0,000000214 t^{4,19}},$$

плотность распределения

$$f(t) = \mu \eta t^{\eta-1} e^{-\mu t^\eta} \approx 0,0000009 \cdot t^{3,19} \cdot e^{-0,000000214 t^{4,19}},$$

интенсивность отказов

$$\lambda(t) = \mu \eta t^{\eta-1} = 0,0000009 \cdot t^{3,19}.$$

Определим значения функций на границах вариационного ряда:

t_j	5	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	70
$F(t)$	0,000	0,018	0,059	0,143	0,282	0,468	0,669	0,836	0,940	0,985	0,998	1,000
$R(t)$	1,000	0,982	0,941	0,857	0,718	0,532	0,331	0,164	0,060	0,015	0,002	0,000
$f(t)$	0,000	0,005	0,012	0,022	0,033	0,040	0,038	0,028	0,014	0,005	0,001	0,000
$\lambda(t)$	0,000	0,005	0,013	0,026	0,046	0,076	0,116	0,169	0,237	0,321	0,423	0,692

и построим графики функций, совмещенные с графиками статистических характеристик (рис. 9 – 12).

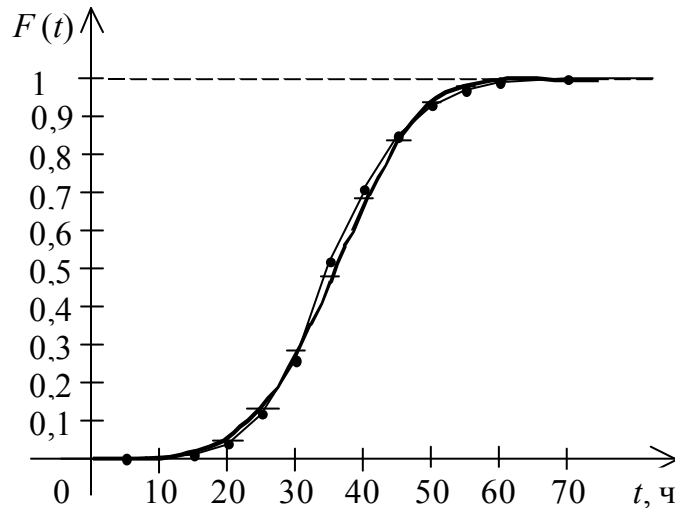


Рис. 9. График функции распределения наработки по закону Вейбулла

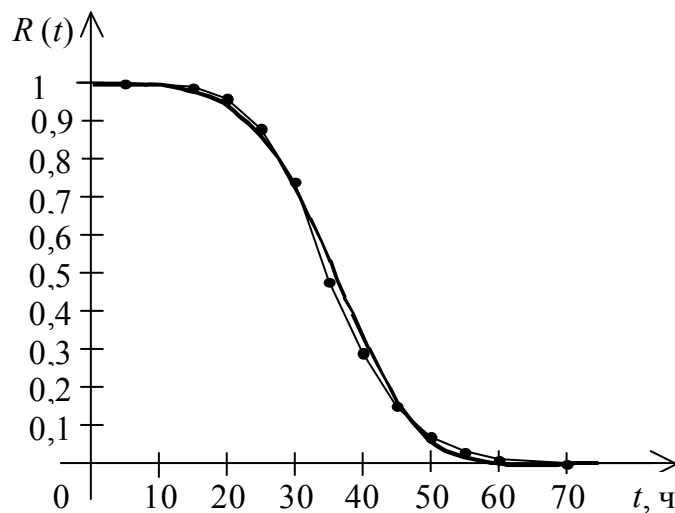


Рис. 10. График функции надежности при законе распределения Вейбулла

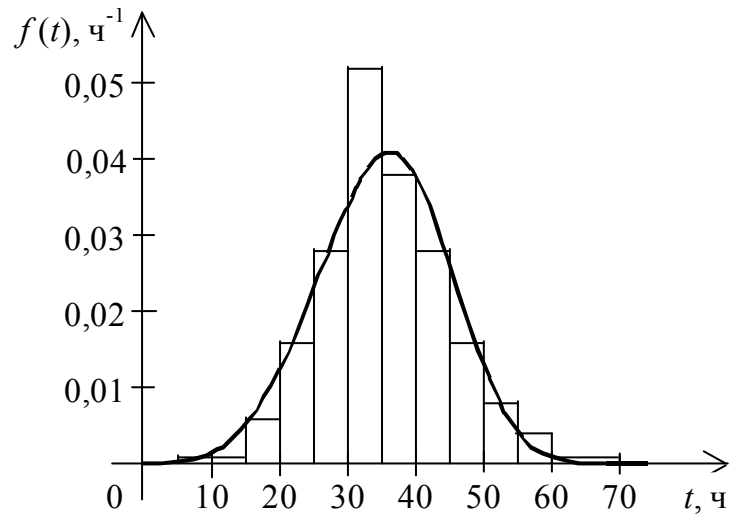


Рис. 11. График плотности распределения наработки по закону Вейбулла

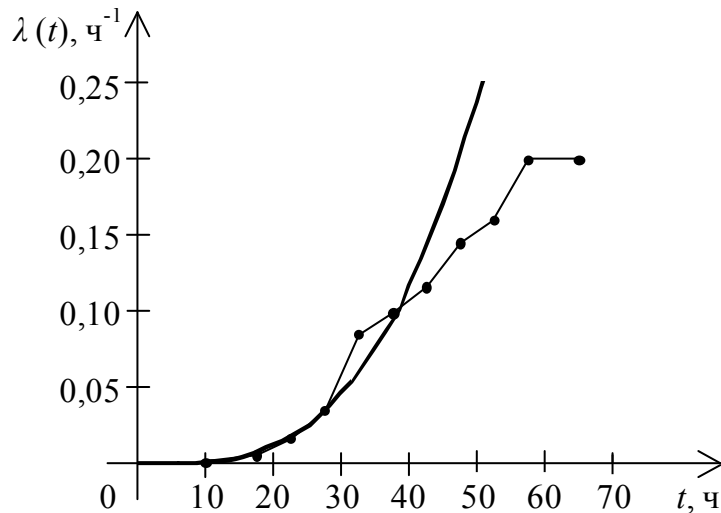


Рис. 12. График функции интенсивности отказов при законе распределения Вейбулла

Проверим соответствие статистического распределения наработки объекта сглаживающим его нормальному закону распределения и закону распределения Вейбулла.

а). Рассмотрим нормальный закон распределения.

Частоты q_j^* попадания случайной величины T в интервалы статистического ряда нам известны. Определим теоретические вероятности q_j попадания случайной величины T в те же интервалы и составим таблицу с соответствующими каждому интервалу значениями q_j^* и q_j . Для нормального закона распределения вероятности попадания в интервалы определяются по формуле

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

Согласно принятому допущению, параметры нормального распределения $T_0 = 35,5$ ч и $\sigma_t = 9,541$ ч. Тогда

$$\begin{aligned}
q_1 &= \Phi_0\left(\frac{15-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{5-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(-2,149) - \Phi_0(-3,197) \approx 0,016 - 0,001 = 0,015; \\
q_2 &= \Phi_0\left(\frac{20-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{15-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(-1,625) - \Phi_0(-2,149) \approx 0,052 - 0,016 = 0,036; \\
q_3 &= \Phi_0\left(\frac{25-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{20-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(-1,101) - \Phi_0(-1,625) \approx 0,135 - 0,052 = 0,083; \\
q_4 &= \Phi_0\left(\frac{30-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{25-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(-0,576) - \Phi_0(-1,101) \approx 0,282 - 0,135 = 0,147; \\
q_5 &= \Phi_0\left(\frac{35-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{30-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(-0,052) - \Phi_0(-0,576) \approx 0,479 - 0,282 = 0,197; \\
q_6 &= \Phi_0\left(\frac{40-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{35-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(0,472) - \Phi_0(-0,052) \approx 0,682 - 0,479 = 0,203; \\
q_7 &= \Phi_0\left(\frac{45-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{40-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(0,996) - \Phi_0(0,472) \approx 0,840 - 0,682 = 0,158; \\
q_8 &= \Phi_0\left(\frac{50-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{45-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(1,520) - \Phi_0(0,996) \approx 0,936 - 0,840 = 0,096; \\
q_9 &= \Phi_0\left(\frac{55-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{50-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(2,044) - \Phi_0(1,520) \approx 0,980 - 0,936 = 0,044; \\
q_{10} &= \Phi_0\left(\frac{60-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{55-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(2,568) - \Phi_0(2,044) \approx 0,995 - 0,980 = 0,015; \\
q_{11} &= \Phi_0\left(\frac{70-35,5}{9,541}\right) - \Phi_0\left(\frac{60-35,5}{9,541}\right) \approx \Phi_0(3,616) - \Phi_0(2,568) \approx 1,000 - 0,995 = 0,005.
\end{aligned}$$

$t_{j-1}; t_j$	5; 15	15; 20	20; 25	25; 30	30; 35	35; 40	40; 45	45; 50	50; 55	55; 60	60; 70
q_j^*	0,01	0,03	0,08	0,14	0,26	0,19	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01
q_j	0,015	0,036	0,083	0,147	0,197	0,203	0,158	0,096	0,044	0,015	0,005

Вычислим значение u .

$$\begin{aligned}
u &= n \sum_{j=1}^k \frac{(q_j^* - q_j)^2}{q_j} \approx 100 \cdot (0,0017 + 0,001 + 0,0001 + 0,0003 + 0,0201 + 0,0008 + \\
&+ 0,0021 + 0,0027 + 0,0004 + 0,0017 + 0,005) = 3,59.
\end{aligned}$$

Поскольку нормальное распределение имеет два параметра, то число наложенных связей составляет $s = 1 + 2 = 3$. Следовательно, число степеней свободы χ^2 -распределения $c = k - s = 11 - 3 = 8$.

В таблице значений квантилей χ^2 -распределения (случайной величины $U = \chi^2$) в зависимости от вероятности $P_c(\chi^2 > u) = 1 - F_c(u)$ и числа степеней свободы c (табл. П.8 приложения 2) значениям $u = 3,59$ и $c = 8$ соответствует $P_c(\chi^2 > u) \approx 0,89$. Поскольку полученная вероятность велика, то принятую гипотезу о нормальном распределении наработки объекта можно считать правдоподобной.

б). Рассмотрим закон распределения Вейбулла.

Определим теоретические вероятности q_j попадания случайной величины T в интервалы вариационного ряда. Для закона распределения Вейбулла вероятность отказа в интервале $(t_{j-1}; t_j)$

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

Параметры распределения $\eta = 4,19$ и $\mu = 0,000000214 \text{ ч}^{-1}$. Тогда

$$\begin{aligned} q_1 &= e^{-0,000000214 \cdot 5^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 15^{4,19}} \approx 0,018; & q_2 &= e^{-0,000000214 \cdot 15^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 20^{4,19}} \approx 0,041; \\ q_3 &= e^{-0,000000214 \cdot 20^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 25^{4,19}} \approx 0,084; & q_4 &= e^{-0,000000214 \cdot 25^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 30^{4,19}} \approx 0,139; \\ q_5 &= e^{-0,000000214 \cdot 30^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 35^{4,19}} \approx 0,186; & q_6 &= e^{-0,000000214 \cdot 35^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 40^{4,19}} \approx 0,201; \\ q_7 &= e^{-0,000000214 \cdot 40^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 45^{4,19}} \approx 0,168; & q_8 &= e^{-0,000000214 \cdot 45^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 50^{4,19}} \approx 0,104; \\ q_9 &= e^{-0,000000214 \cdot 50^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 55^{4,19}} \approx 0,045; \\ q_{10} &= e^{-0,000000214 \cdot 55^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 60^{4,19}} \approx 0,013; \\ q_{11} &= e^{-0,000000214 \cdot 60^{4,19}} - e^{-0,000000214 \cdot 70^{4,19}} \approx 0,002. \end{aligned}$$

$t_{j-1}; t_j$	5; 15	15; 20	20; 25	25; 30	30; 35	35; 40	40; 45	45; 50	50; 55	55; 60	60; 70
q_j^*	0,01	0,03	0,08	0,14	0,26	0,19	0,14	0,08	0,04	0,02	0,01
q_j	0,018	0,041	0,084	0,139	0,186	0,201	0,168	0,104	0,045	0,013	0,002

Следовательно,

$$u = n \sum_{j=1}^k \frac{(q_j^* - q_j)^2}{q_j} \approx 100 \cdot 0,0753 = 7,53.$$

Число степеней свободы χ^2 -распределения $c = k - s = 11 - 3 = 8$.

В табл. П.8 приложения 2 значениям $u = 7,53$ и $c = 8$ соответствует вероятность (уровень значимости) $P_c(\chi^2 > u) \approx 0,49$.

Таким образом, поскольку уровень значимости гипотезы о нормальном распределении больше уровня значимости гипотезы о распределении Вейбулла, то распределение наработки с большей вероятностью является нормальным, чем распределением Вейбулла. Поэтому можно считать, что закон распределения наработки выражается плотностью

$$f(t) = \frac{1}{9,541 \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-35,5)^2}{2 \cdot 9,541^2}}.$$

3. Вывод о виде наработки

Так как нормальным законом описывается наработка объекта, основными причинами отказов которого является износ составных частей, то можно предположить, что в случае, если рассматриваемый объект является восстанавливаемым, то наработка T представляет собой либо ресурс, либо срок службы. Если объект невосстанавливаемый, то надо полагать, что T является наработкой до отказа объекта на этапе его старения.

4. Определение статистической оценки вероятности безотказной работы объекта в течение времени t_* , аналитической вероятности безотказной работы объекта в течение времени t_* по полученному закону распределения, а также γ -процентной наработки объекта

Определим границы доверительного интервала оценки вероятности безотказной работы объекта за 22 часа работы при доверительной вероятности 0,95 по данным отказов, представленным в таблице

$t_{j-1}; t_j$	5; 15	15; 20	20; 25	25; 30	30; 35	35; 40	40; 45	45; 50	50; 55	55; 60	60; 70
Δm_j	1	3	8	14	26	19	14	8	4	2	1

По формуле оценки вероятности безотказной работы

$$\hat{R}(t_* = 22) = 1 - \frac{m(t_* = 22)}{n}$$

где $n = 100$ – общее число рассматриваемых объектов, а $m(t_* = 22)$ – число объектов, отказавших к моменту времени $t_* = 22$ ч.

Если время t_* принадлежит j -му интервалу вариационного ряда, то число объектов, отказавших за время t_*

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

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

Поскольку время $t_* = 22$ ч принадлежит 3-му интервалу вариационного ряда, то

$$m(t_* = 22) = m(t_2) + \Delta m_3 \frac{t_* - t_2}{t_3 - t_2} = 1 + 3 + 8 \cdot \frac{22 - 20}{25 - 20} = 4 + 3,2 = 7,2.$$

Таким образом, точечная оценка вероятности безотказной работы за $t_* = 22$ ч

$$\hat{R}(t_* = 22) = \hat{r} = 1 - \frac{7,2}{100} = 0,928.$$

Аналитическое значение вероятности безотказной работы за $t_* = 22$ ч вычислим, исходя из предположения, что наработка подчиняется нормальному закону распределения с параметрами $T_0 = 35,5$ ч и $\sigma_t = 9,541$ ч.

$$R(t = 22 \text{ ч}) = \Phi_0\left(\frac{35,5 - 22}{9,541}\right) = \Phi_0(1,415) = 0,9214.$$

Определим 90-процентную наработку объекта. В случае нормального распределения $R(t) = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t}{\sigma_t}\right)$. Следовательно, $\frac{\gamma}{100} = \Phi_0\left(\frac{T_0 - t_\gamma}{\sigma_t}\right)$, и

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

В соответствии с табл. П.4 приложения 2, $U_{90} = 1,28155$. Тогда

$$t_{90\%} = 35,5 - 9,541 \cdot 1,28155 = 23,27 \text{ ч.}$$

5. Определение интервальных оценок параметров распределений

Среднее значение наработки объекта, полученное по результатам испытаний 100 объектов, составляет 35,5 ч, а ее дисперсия 91,035 ч². Определим интервальную оценку средней наработки объекта при доверительной вероятности 0,95.

Определение интервальной оценки сводится к определению доверительных границ при заданной доверительной вероятности. Найдем сначала приближенные доверительные границы оценки наработки до отказа.

$$T_{\text{н}} \approx \hat{T}_0 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \hat{T}_0)^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}} = \hat{T}_0 - \sqrt{\frac{\hat{D}_t}{n}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}},$$

$$T_{\text{в}} \approx \hat{T}_0 + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \hat{T}_0)^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}} = \hat{T}_0 + \sqrt{\frac{\hat{D}_t}{n}} \cdot U_{\frac{1+\beta}{2}}.$$

Определим по табл. П.3 приложения 2 значение $U_{\frac{1+\beta}{2}}$. В этой таблице вероятности

$F(x) = \frac{1+0,95}{2} = 0,975$ соответствует квантиль $U_{0,975} \approx 1,96$. Следовательно, приближенные доверительные границы

$$T_{\text{н}} \approx 35,5 - \sqrt{\frac{91,035}{100}} \cdot 1,96 \approx 33,63 \text{ ч},$$

$$T_{\text{в}} \approx 35,5 + \sqrt{\frac{91,035}{100}} \cdot 1,96 \approx 37,37 \text{ ч}.$$

Теперь определим точные доверительные границы.

$$T_{\text{н}} = \hat{T}_0 - \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \hat{T}_0)^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot v_{\beta} = \hat{T}_0 - \sqrt{\frac{\hat{D}_t}{n}} \cdot v_{\beta},$$

$$T_{\text{в}} = \hat{T}_0 + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\tau_i - \hat{T}_0)^2}{n \cdot (n-1)}} \cdot v_{\beta} = \hat{T}_0 + \sqrt{\frac{\hat{D}_t}{n}} \cdot v_{\beta}.$$

В соответствии с табл. П.9 приложения 2, для $\beta = 0,95$ и $c = 100$ $v_{0,95} = 1,984$. Поэтому точные доверительные границы

$$T_{\text{н}} = 35,5 - \sqrt{\frac{91,035}{100}} \cdot 1,984 \approx 33,61 \text{ ч},$$

$$T_{\text{в}} = 35,5 + \sqrt{\frac{91,035}{100}} \cdot 1,984 \approx 37,39 \text{ ч}.$$

Таким образом, с вероятностью 0,95 точное значение средней наработки T_0 находится в интервале (33,61; 37,39).

Проверим возможность применения нормального закона для определения интервальной оценки вероятности безотказной работы за наработку $t_* = 22$ ч. Поскольку

$$nr \approx n\hat{r} = 100 \cdot 0,928 = 92,8, \quad nq \approx n\hat{q} = 100 \cdot (1 - 0,928) = 7,2,$$

то есть, оба произведения больше четырех, то, следовательно, нормальный закон применим.

По табл. П.3 приложения 2, $U_{\frac{1+0,95}{2}} = U_{0,975} \approx 1,96$.

Доверительные границы:

$$r_H = \frac{\hat{r} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{2n} - U_{\frac{1+\beta}{2}} \sqrt{\frac{\hat{r} \cdot (1-\hat{r})}{n} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}} = \frac{0,928 + \frac{1,96^2}{2 \cdot 100} - 1,96 \sqrt{\frac{0,928 \cdot 0,072}{100} + \frac{1,96^2}{4 \cdot 100^2}}}{1 + \frac{1,96^2}{100}} \approx 0,860,$$

$$r_B = \frac{\hat{r} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{2n} + U_{\frac{1+\beta}{2}} \sqrt{\frac{\hat{r} \cdot (1-\hat{r})}{n} + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{4n^2}}}{1 + \frac{U_{\frac{1+\beta}{2}}^2}{n}} = \frac{0,928 + \frac{1,96^2}{2 \cdot 100} + 1,96 \sqrt{\frac{0,928 \cdot 0,072}{100} + \frac{1,96^2}{4 \cdot 100^2}}}{1 + \frac{1,96^2}{100}} \approx 0,967.$$

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чернышов, К. В. Показатели надежности технических систем: наработка до отказа, ресурс, срок службы: учеб. пособ. / К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2007. – 80 с.
2. Чернышов, К. В. Основы теории надежности и диагностика. Определение надежности технического объекта по экспериментальным данным: метод. указ. к выполнению семестр. работы / К. В. Чернышов; ВолгГТУ. – Волгоград: ВолгГТУ, 2009. – 56 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Таблицы

Таблица П.1

Значения нормальной функции распределения

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

z	Φ ₀ (z)	Δ ¹	z	Φ ₀ (z)	Δ	z	Φ 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 10⁴) между данным и последующим значениями Φ₀(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			

Таблица П.2

$$\text{Значения функции Лапласа } \Phi(z) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
0,00	0,00000000	0,40	0,15542170	0,80	0,28814467
0,01	0,00398938	0,41	0,15909699	0,81	0,29102997
0,02	0,00797835	0,42	0,16275724	0,82	0,29389201
0,03	0,01196653	0,43	0,16640215	0,83	0,29673067
0,04	0,01595350	0,44	0,17003142	0,84	0,29954586
0,05	0,01993887	0,45	0,17364476	0,85	0,30233751
0,06	0,02392225	0,46	0,17724187	0,86	0,30510553
0,07	0,02790324	0,47	0,18082248	0,87	0,30784984
0,08	0,03188144	0,48	0,18438630	0,88	0,31057039
0,09	0,03585646	0,49	0,18793305	0,89	0,31326709
0,10	0,03982790	0,50	0,19146246	0,90	0,31593991
0,11	0,04379536	0,51	0,19497428	0,91	0,31858877
0,12	0,04775847	0,52	0,19846823	0,92	0,32121365
0,13	0,05171682	0,53	0,20194406	0,93	0,32381448
0,14	0,05567003	0,54	0,20540151	0,94	0,32639124
0,15	0,05961771	0,55	0,20884034	0,95	0,32894389
0,16	0,06355947	0,56	0,21226032	0,96	0,33147240
0,17	0,06749493	0,57	0,21566119	0,97	0,33397676
0,18	0,07142371	0,58	0,21904274	0,98	0,33645694
0,19	0,07534542	0,59	0,22240472	0,99	0,33891294
0,20	0,07925969	0,60	0,22574694	1,00	0,34134474
0,21	0,08316613	0,61	0,22906915	1,01	0,34375235
0,22	0,08706439	0,62	0,23237117	1,02	0,34613576
0,23	0,09095407	0,63	0,23565277	1,03	0,34849498
0,24	0,09483482	0,64	0,23891377	1,04	0,35083003
0,25	0,09870627	0,65	0,24215396	1,05	0,35314092
0,26	0,10256806	0,66	0,24537315	1,06	0,35542767
0,27	0,10641981	0,67	0,24857118	1,07	0,35769031
0,28	0,11026119	0,68	0,25174784	1,08	0,35992888
0,29	0,11409182	0,69	0,25490298	1,09	0,36214339
0,30	0,11791136	0,70	0,25803642	1,10	0,36433390
0,31	0,12171946	0,71	0,26114801	1,11	0,36650044
0,32	0,12551577	0,72	0,26423758	1,12	0,36864307
0,33	0,12929995	0,73	0,26730498	1,13	0,37076184
0,34	0,13307167	0,74	0,27035008	1,14	0,37285680
0,35	0,13683059	0,75	0,27337272	1,15	0,37492801
0,36	0,14057637	0,76	0,27637278	1,16	0,37697554
0,37	0,14430870	0,77	0,27935012	1,17	0,37899946
0,38	0,14802724	0,78	0,28230463	1,18	0,38099983
0,39	0,15173168	0,79	0,28523618	1,19	0,38297674

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
1,20	0,38493027	1,60	0,44520071	2,00	0,47724994
1,21	0,38686049	1,61	0,44630108	2,01	0,47778448
1,22	0,38876750	1,62	0,44738387	2,02	0,47830838
1,23	0,39065138	1,63	0,44844926	2,03	0,47882180
1,24	0,39251224	1,64	0,44949743	2,04	0,47932491
1,25	0,39435016	1,65	0,45052855	2,05	0,47981785
1,26	0,39616525	1,66	0,45154279	2,06	0,48030080
1,27	0,39795762	1,67	0,45254034	2,07	0,48077389
1,28	0,39972737	1,68	0,45352137	2,08	0,48123730
1,29	0,40147461	1,69	0,45448605	2,09	0,48169116
1,30	0,40319945	1,70	0,45543457	2,10	0,48213564
1,31	0,40490202	1,71	0,45636710	2,11	0,48257088
1,32	0,40658243	1,72	0,45728382	2,12	0,48299704
1,33	0,40824080	1,73	0,45818490	2,13	0,48341425
1,34	0,40987727	1,74	0,45907053	2,14	0,48382267
1,35	0,41149195	1,75	0,45994089	2,15	0,48422245
1,36	0,41308498	1,76	0,46079614	2,16	0,48461372
1,37	0,41465649	1,77	0,46163648	2,17	0,48499663
1,38	0,41620662	1,78	0,46246207	2,18	0,48537132
1,39	0,41773551	1,79	0,46327310	2,19	0,48573793
1,40	0,41924329	1,80	0,46406973	2,20	0,48609660
1,41	0,42073011	1,81	0,46485216	2,21	0,48644747
1,42	0,42219611	1,82	0,46562055	2,22	0,48679066
1,43	0,42364144	1,83	0,46637509	2,23	0,48712632
1,44	0,42506626	1,84	0,46711594	2,24	0,48745458
1,45	0,42647070	1,85	0,46784329	2,25	0,48777557
1,46	0,42785492	1,86	0,46855730	2,26	0,48808941
1,47	0,42921909	1,87	0,46925816	2,27	0,48839624
1,48	0,43056334	1,88	0,46994603	2,28	0,48869619
1,49	0,43188785	1,89	0,47062109	2,29	0,48898937
1,50	0,43319277	1,90	0,47128351	2,30	0,48927592
1,51	0,43447826	1,91	0,47193346	2,31	0,48955595
1,52	0,43574449	1,92	0,47257112	2,32	0,48982959
1,53	0,43699162	1,93	0,47319665	2,33	0,49009695
1,54	0,43821981	1,94	0,47381022	2,34	0,49035815
1,55	0,43942923	1,95	0,47441201	2,35	0,49061331
1,56	0,44062005	1,96	0,47500217	2,36	0,49086255
1,57	0,44179244	1,97	0,47558088	2,37	0,49110597
1,58	0,44294656	1,98	0,47614831	2,38	0,49134369
1,59	0,44408260	1,99	0,47670460	2,39	0,49157582

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
2,40	0,49180247	2,80	0,49744481	3,20	0,49931280
2,41	0,49202374	2,81	0,49752286	3,21	0,49933626
2,42	0,49223975	2,82	0,49759876	3,22	0,49935898
2,43	0,49245059	2,83	0,49767254	3,23	0,49938099
2,44	0,49265637	2,84	0,49774426	3,24	0,49940229
2,45	0,49285719	2,85	0,49781397	3,25	0,49942291
2,46	0,49305314	2,86	0,49788173	3,26	0,49944288
2,47	0,49324434	2,87	0,49794758	3,27	0,49946220
2,48	0,49343087	2,88	0,49801156	3,28	0,49948090
2,49	0,49361283	2,89	0,49807372	3,29	0,49949900
2,50	0,49379032	2,90	0,49813412	3,30	0,49951652
2,51	0,49396343	2,91	0,49819279	3,31	0,49953346
2,52	0,49413224	2,92	0,49824978	3,32	0,49954986
2,53	0,49429685	2,93	0,49830512	3,33	0,49956571
2,54	0,49445735	2,94	0,49835887	3,34	0,49958105
2,55	0,49461383	2,95	0,49841106	3,35	0,49959589
2,56	0,49476637	2,96	0,49846174	3,36	0,49961023
2,57	0,49491505	2,97	0,49851093	3,37	0,49962411
2,58	0,49505995	2,98	0,49855869	3,38	0,49963752
2,59	0,49520117	2,99	0,49860504	3,39	0,49965048
2,60	0,49533878	3,00	0,49865003	3,40	0,49966302
2,61	0,49547285	3,01	0,49869369	3,41	0,49967513
2,62	0,49560347	3,02	0,49873606	3,42	0,49968684
2,63	0,49573072	3,03	0,49877716	3,43	0,49969816
2,64	0,49585466	3,04	0,49881704	3,44	0,49970909
2,65	0,49597537	3,05	0,49885572	3,45	0,49971966
2,66	0,49609292	3,06	0,49889325	3,46	0,49972987
2,67	0,49620739	3,07	0,49892964	3,47	0,49973972
2,68	0,49631885	3,08	0,49896493	3,48	0,49974925
2,69	0,49642735	3,09	0,49899915	3,49	0,49975844
2,70	0,49653298	3,10	0,49903233	3,50	0,49976733
2,71	0,49663579	3,11	0,49906450	3,51	0,49977590
2,72	0,49673585	3,12	0,49909568	3,52	0,49978418
2,73	0,49683323	3,13	0,49912590	3,53	0,49979218
2,74	0,49692799	3,14	0,49915519	3,54	0,49979990
2,75	0,49702018	3,15	0,49918358	3,55	0,49980734
2,76	0,49711098	3,16	0,49921109	3,56	0,49981453
2,77	0,49719713	3,17	0,49923774	3,57	0,49982147
2,78	0,49728200	3,18	0,49926356	3,58	0,49982816
2,79	0,49736454	3,19	0,49928857	3,59	0,49983462

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
3,60	0,49984085	4,00	0,49996831	4,40	0,49 ⁽⁴⁾ 4583
3,61	0,49984687	4,01	0,49996963	4,41	0,49 ⁽⁴⁾ 4827
3,62	0,49985266	4,02	0,49997089	4,42	0,49 ⁽⁴⁾ 5061
3,63	0,49985825	4,03	0,49997210	4,43	0,49 ⁽⁴⁾ 5284
3,64	0,49986365	4,04	0,49997326	4,44	0,49 ⁽⁴⁾ 5498
3,65	0,49986885	4,05	0,49997438	4,45	0,49 ⁽⁴⁾ 5703
3,66	0,49987386	4,06	0,49997545	4,46	0,49 ⁽⁴⁾ 5898
3,67	0,49987869	4,07	0,49997648	4,47	0,49 ⁽⁴⁾ 6086
3,68	0,49988335	4,08	0,49997747	4,48	0,49 ⁽⁴⁾ 6264
3,69	0,49988784	4,09	0,49997842	4,49	0,49 ⁽⁴⁾ 6436
3,70	0,49989217	4,10	0,49997933	4,50	0,49 ⁽⁴⁾ 6599
3,71	0,49989634	4,11	0,49998021	4,51	0,49 ⁽⁴⁾ 6756
3,72	0,49990036	4,12	0,49998105	4,52	0,49 ⁽⁴⁾ 6905
3,73	0,49990423	4,13	0,49998185	4,53	0,49 ⁽⁴⁾ 7048
3,74	0,49990796	4,14	0,49998262	4,54	0,49 ⁽⁴⁾ 7185
3,75	0,49991156	4,15	0,49998337	4,55	0,49 ⁽⁴⁾ 7315
3,76	0,49991502	4,16	0,49998408	4,56	0,49 ⁽⁴⁾ 7440
3,77	0,49991835	4,17	0,49998476	4,57	0,49 ⁽⁴⁾ 7559
3,78	0,49992156	4,18	0,49998542	4,58	0,49 ⁽⁴⁾ 7673
3,79	0,49992465	4,19	0,49998604	4,59	0,49 ⁽⁴⁾ 7782
3,80	0,49992763	4,20	0,49998665	4,60	0,49 ⁽⁴⁾ 7885
3,81	0,49993049	4,21	0,49998722	4,61	0,49 ⁽⁴⁾ 7985
3,82	0,49993325	4,22	0,49998778	4,62	0,49 ⁽⁴⁾ 8079
3,83	0,49993591	4,23	0,49998831	4,63	0,49 ⁽⁴⁾ 8170
3,84	0,49993846	4,24	0,49998882	4,64	0,49 ⁽⁴⁾ 8256
3,85	0,49994092	4,25	0,49998930	4,65	0,49 ⁽⁴⁾ 8339
3,86	0,49994329	4,26	0,49998977	4,66	0,49 ⁽⁴⁾ 8417
3,87	0,49994556	4,27	0,49999022	4,67	0,49 ⁽⁴⁾ 8492
3,88	0,49994775	4,28	0,49999065	4,68	0,49 ⁽⁴⁾ 8564
3,89	0,49994986	4,29	0,49999106	4,69	0,49 ⁽⁴⁾ 8632
3,90	0,49995188	4,30	0,49 ⁽⁴⁾ 1454	4,70	0,49 ⁽⁴⁾ 8698
3,91	0,49995383	4,31	0,49 ⁽⁴⁾ 1831	4,71	0,49 ⁽⁴⁾ 8760
3,92	0,49995571	4,32	0,49 ⁽⁴⁾ 2193	4,72	0,49 ⁽⁴⁾ 8819
3,93	0,49995751	4,33	0,49 ⁽⁴⁾ 2539	4,73	0,49 ⁽⁴⁾ 8876
3,94	0,49995924	4,34	0,49 ⁽⁴⁾ 2870	4,74	0,49 ⁽⁴⁾ 8930
3,95	0,49996091	4,35	0,49 ⁽⁴⁾ 3188	4,75	0,49 ⁽⁴⁾ 8982
3,96	0,49996251	4,36	0,49 ⁽⁴⁾ 3492	4,76	0,49 ⁽⁴⁾ 9031
3,97	0,49996405	4,37	0,49 ⁽⁴⁾ 3783	4,77	0,49 ⁽⁴⁾ 9078
3,98	0,49996553	4,38	0,49 ⁽⁴⁾ 4061	4,78	0,49 ⁽⁴⁾ 9122
3,99	0,49996695	4,39	0,49 ⁽⁴⁾ 4328	4,79	0,49 ⁽⁴⁾ 9165

z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$	z	$\Phi(z)$
4,80	0,49 ⁽⁵⁾ 2056	5,20	0,49 ⁽⁵⁾ 9002	5,60	0,49 ⁽⁵⁾ 9893
4,81	0,49 ⁽⁵⁾ 2444	5,21	0,49 ⁽⁵⁾ 9054	5,61	0,49 ⁽⁵⁾ 9899
4,82	0,49 ⁽⁵⁾ 2813	5,22	0,49 ⁽⁵⁾ 9104	5,62	0,49 ⁽⁵⁾ 9904
4,83	0,49 ⁽⁵⁾ 3164	5,23	0,49 ⁽⁵⁾ 9151	5,63	0,49 ⁽⁵⁾ 9910
4,84	0,49 ⁽⁵⁾ 3499	5,24	0,49 ⁽⁵⁾ 9196	5,64	0,49 ⁽⁵⁾ 9915
4,85	0,49 ⁽⁵⁾ 3819	5,25	0,49 ⁽⁵⁾ 9238	5,65	0,49 ⁽⁵⁾ 9920
4,86	0,49 ⁽⁵⁾ 4123	5,26	0,49 ⁽⁵⁾ 9278	5,66	0,49 ⁽⁵⁾ 9924
4,87	0,49 ⁽⁵⁾ 4412	5,27	0,49 ⁽⁵⁾ 9316	5,67	0,49 ⁽⁵⁾ 9928
4,88	0,49 ⁽⁵⁾ 4688	5,28	0,49 ⁽⁵⁾ 9353	5,68	0,49 ⁽⁵⁾ 9932
4,89	0,49 ⁽⁵⁾ 4951	5,29	0,49 ⁽⁵⁾ 9387	5,69	0,49 ⁽⁵⁾ 9936
4,90	0,49 ⁽⁵⁾ 5201	5,30	0,49 ⁽⁵⁾ 9420	5,70	0,49 ⁽⁵⁾ 9940
4,91	0,49 ⁽⁵⁾ 5440	5,31	0,49 ⁽⁵⁾ 9451	5,71	0,49 ⁽⁵⁾ 9943
4,92	0,49 ⁽⁵⁾ 5666	5,32	0,49 ⁽⁵⁾ 9480	5,72	0,49 ⁽⁵⁾ 9947
4,93	0,49 ⁽⁵⁾ 5882	5,33	0,49 ⁽⁵⁾ 9508	5,73	0,49 ⁽⁵⁾ 9950
4,94	0,49 ⁽⁵⁾ 6088	5,34	0,49 ⁽⁵⁾ 9534	5,74	0,49 ⁽⁵⁾ 9953
4,95	0,49 ⁽⁵⁾ 6284	5,35	0,49 ⁽⁵⁾ 9559	5,75	0,49 ⁽⁵⁾ 9955
4,96	0,49 ⁽⁵⁾ 6470	5,36	0,49 ⁽⁵⁾ 9583	5,76	0,49 ⁽⁵⁾ 9958
4,97	0,49 ⁽⁵⁾ 6647	5,37	0,49 ⁽⁵⁾ 9605	5,77	0,49 ⁽⁵⁾ 9960
4,98	0,49 ⁽⁵⁾ 6816	5,38	0,49 ⁽⁵⁾ 9627	5,78	0,49 ⁽⁵⁾ 9963
4,99	0,49 ⁽⁵⁾ 6976	5,39	0,49 ⁽⁵⁾ 9647	5,79	0,49 ⁽⁵⁾ 9965
5,00	0,49 ⁽⁵⁾ 7129	5,40	0,49 ⁽⁵⁾ 9666	5,80	0,49 ⁽⁵⁾ 9967
5,01	0,49 ⁽⁵⁾ 7274	5,41	0,49 ⁽⁵⁾ 9684	5,81	0,49 ⁽⁵⁾ 9969
5,02	0,49 ⁽⁵⁾ 7412	5,42	0,49 ⁽⁵⁾ 9701	5,82	0,49 ⁽⁵⁾ 9970
5,03	0,49 ⁽⁵⁾ 7544	5,43	0,49 ⁽⁵⁾ 9718	5,83	0,49 ⁽⁵⁾ 9972
5,04	0,49 ⁽⁵⁾ 7669	5,44	0,49 ⁽⁵⁾ 9733	5,84	0,49 ⁽⁵⁾ 9974
5,05	0,49 ⁽⁵⁾ 7787	5,45	0,49 ⁽⁵⁾ 9748	5,85	0,49 ⁽⁵⁾ 9975
5,06	0,49 ⁽⁵⁾ 7900	5,46	0,49 ⁽⁵⁾ 9761	5,86	0,49 ⁽⁵⁾ 9977
5,07	0,49 ⁽⁵⁾ 8008	5,47	0,49 ⁽⁵⁾ 9774	5,87	0,49 ⁽⁵⁾ 9978
5,08	0,49 ⁽⁵⁾ 8110	5,48	0,49 ⁽⁵⁾ 9787	5,88	0,49 ⁽⁵⁾ 9979
5,09	0,49 ⁽⁵⁾ 8207	5,49	0,49 ⁽⁵⁾ 9799	5,89	0,49 ⁽⁵⁾ 9981
5,10	0,49 ⁽⁵⁾ 8299	5,50	0,49 ⁽⁵⁾ 9810	5,90	0,49 ⁽⁵⁾ 9982
5,11	0,49 ⁽⁵⁾ 8386	5,51	0,49 ⁽⁵⁾ 9820	5,91	0,49 ⁽⁵⁾ 9983
5,12	0,49 ⁽⁵⁾ 8470	5,52	0,49 ⁽⁵⁾ 9830	5,92	0,49 ⁽⁵⁾ 9984
5,13	0,49 ⁽⁵⁾ 8549	5,53	0,49 ⁽⁵⁾ 9839	5,93	0,49 ⁽⁵⁾ 9985
5,14	0,49 ⁽⁵⁾ 8624	5,54	0,49 ⁽⁵⁾ 9848	5,94	0,49 ⁽⁵⁾ 9986
5,15	0,49 ⁽⁵⁾ 8695	5,55	0,49 ⁽⁵⁾ 9857	5,95	0,49 ⁽⁵⁾ 9987
5,16	0,49 ⁽⁵⁾ 8763	5,56	0,49 ⁽⁵⁾ 9865	5,96	0,49 ⁽⁵⁾ 9987
5,17	0,49 ⁽⁵⁾ 8827	5,57	0,49 ⁽⁵⁾ 9872	5,97	0,49 ⁽⁵⁾ 9988
5,18	0,49 ⁽⁵⁾ 8888	5,58	0,49 ⁽⁵⁾ 9879	5,98	0,49 ⁽⁵⁾ 9989
5,19	0,49 ⁽⁵⁾ 8947	5,59	0,49 ⁽⁵⁾ 9886	5,99	0,49 ⁽⁵⁾ 9989

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	0,99999	4,26545739
0,390	-0,27931947	0,790	0,80642167		

Таблица П.4

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.5

Значения квантилей функции надежности при нормальном
распределении наработки

$$U_{P(t_\gamma)} = -\frac{t_\gamma - T_0}{\sigma_t}$$

$P(t_\gamma)$	$U_{P(t_\gamma)}$	$P(t_\gamma)$	$U_{P(t_\gamma)}$	$P(t_\gamma)$	$U_{P(t_\gamma)}$	$P(t_\gamma)$	$U_{P(t_\gamma)}$
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

Таблица П.6

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

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

η	v	η	v	η	v	η	v
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	v	η	v	η	v	η	v
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.7

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

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

в зависимости от вероятности $F_c(u)$ и числа степеней свободы c

c	$F_c(u)$									
	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
1	0,000	0,001	0,001	0,003	0,004	0,016	0,064	0,148	0,275	0,455
2	0,020	0,040	0,061	0,082	0,103	0,211	0,446	0,713	1,022	1,386
3	0,115	0,185	0,245	0,300	0,352	0,584	1,005	1,424	1,869	2,366
4	0,297	0,429	0,535	0,627	0,711	1,064	1,649	2,195	2,753	3,357
5	0,554	0,752	0,903	1,031	1,145	1,610	2,343	3,000	3,656	4,351
6	0,872	1,134	1,330	1,492	1,635	2,204	3,070	3,828	4,570	5,348
7	1,239	1,564	1,802	1,997	2,167	2,833	3,822	4,671	5,493	6,346
8	1,647	2,032	2,310	2,537	2,733	3,490	4,594	5,527	6,423	7,344
9	2,088	2,532	2,848	3,105	3,325	4,168	5,380	6,393	7,357	8,343
10	2,558	3,059	3,412	3,697	3,940	4,865	6,179	7,267	8,295	9,342
11	3,053	3,609	3,997	4,309	4,575	5,578	6,989	8,148	9,237	10,341
12	3,571	4,178	4,601	4,939	5,226	6,304	7,807	9,034	10,182	11,340
13	4,107	4,765	5,221	5,584	5,892	7,041	8,634	9,926	11,129	12,340
14	4,660	5,368	5,856	6,243	6,571	7,790	9,467	10,821	12,078	13,339
15	5,229	5,985	6,503	6,914	7,261	8,547	10,307	11,721	13,030	14,339
16	5,812	6,614	7,163	7,596	7,962	9,312	11,152	12,624	13,983	15,338
17	6,408	7,255	7,832	8,288	8,672	10,085	12,002	13,531	14,937	16,338
18	7,015	7,906	8,512	8,989	9,390	10,865	12,857	14,440	15,893	17,338
19	7,633	8,567	9,200	9,698	10,117	11,651	13,716	15,352	16,850	18,338
20	8,260	9,237	9,897	10,415	10,851	12,443	14,578	16,266	17,809	19,337
21	8,897	9,915	10,601	11,140	11,591	13,240	15,445	17,182	18,768	20,337
22	9,542	10,600	11,313	11,870	12,338	14,041	16,314	18,101	19,729	21,337
23	10,196	11,293	12,030	12,607	13,091	14,848	17,187	19,021	20,690	22,337
24	10,856	11,992	12,754	13,350	13,848	15,659	18,062	19,943	21,652	23,337
25	11,524	12,697	13,484	14,098	14,611	16,473	18,940	20,867	22,616	24,337
26	12,198	13,409	14,219	14,851	15,379	17,292	19,820	21,792	23,579	25,336
27	12,878	14,125	14,959	15,609	16,151	18,114	20,703	22,719	24,544	26,336
28	13,565	14,847	15,704	16,371	16,928	18,939	21,588	23,647	25,509	27,336
29	14,256	15,574	16,454	17,138	17,708	19,768	22,475	24,577	26,475	28,336
30	14,953	16,306	17,208	17,908	18,493	20,599	23,364	25,508	27,442	29,336

c	$F_c(u)$									
	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	0,999
1	0,708	1,074	1,642	2,706	3,841	4,218	4,709	5,412	6,635	10,827
2	1,833	2,408	3,219	4,605	5,991	6,438	7,013	7,824	9,210	13,815
3	2,946	3,665	4,642	6,251	7,815	8,311	8,947	9,837	11,345	16,266
4	4,045	4,878	5,989	7,779	9,488	10,026	10,712	11,668	13,277	18,466
5	5,132	6,064	7,289	9,236	11,070	11,644	12,375	13,388	15,086	20,515
6	6,211	7,231	8,558	10,645	12,592	13,198	13,968	15,033	16,812	22,457
7	7,283	8,383	9,803	12,017	14,067	14,703	15,509	16,622	18,475	24,321
8	8,351	9,524	11,030	13,362	15,507	16,171	17,011	18,168	20,090	26,124
9	9,414	10,656	12,242	14,684	16,919	17,608	18,480	19,679	21,666	27,877
10	10,473	11,781	13,442	15,987	18,307	19,021	19,922	21,161	23,209	29,588
11	11,530	12,899	14,631	17,275	19,675	20,412	21,342	22,618	24,725	31,264
12	12,584	14,011	15,812	18,549	21,026	21,785	22,742	24,054	26,217	32,909
13	13,636	15,119	16,985	19,812	22,362	23,142	24,125	25,471	27,688	34,527
14	14,685	16,222	18,151	21,064	23,685	24,485	25,493	26,873	29,141	36,124
15	15,733	17,322	19,311	22,307	24,996	25,816	26,848	28,259	30,578	37,698
16	16,780	18,418	20,465	23,542	26,296	27,136	28,191	29,633	32,000	39,252
17	17,824	19,511	21,615	24,769	27,587	28,445	29,523	30,995	33,409	40,791
18	18,868	20,601	22,760	25,989	28,869	29,745	30,845	32,346	34,805	42,312
19	19,910	21,689	23,900	27,204	30,144	31,037	32,158	33,687	36,191	43,819
20	20,951	22,775	25,038	28,412	31,410	32,321	33,462	35,020	37,566	45,314
21	21,992	23,858	26,171	29,615	32,671	33,597	34,759	36,343	38,932	46,796
22	23,031	24,939	27,301	30,813	33,924	34,867	36,049	37,659	40,289	48,268
23	24,069	26,018	28,429	32,007	35,172	36,131	37,332	38,968	41,638	49,728
24	25,106	27,096	29,553	33,196	36,415	37,389	38,609	40,270	42,980	51,179
25	26,143	28,172	30,675	34,382	37,652	38,642	39,880	41,566	44,314	52,619
26	27,179	29,246	31,795	35,563	38,885	39,889	41,146	42,856	45,642	54,051
27	28,214	30,319	32,912	36,741	40,113	41,132	42,407	44,140	46,963	55,475
28	29,249	31,391	34,027	37,916	41,337	42,370	43,662	45,419	48,278	56,892
29	30,283	32,461	35,139	39,087	42,557	43,604	44,913	46,693	49,588	58,301
30	31,316	33,530	36,250	40,256	43,773	44,834	46,160	47,962	50,892	59,702

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.9

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

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

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