

ПЕРВОЕ ВЫСШЕЕ ТЕХНИЧЕСКОЕ УЧЕБНОЕ ЗАВЕДЕНИЕ РОССИИ



«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

**Кафедра метрологии, приборостроения
и управления качеством**

Допущены

к проведению занятий в 2022-2023 уч.году
Заведующий кафедрой

Гоголинский К.В.

«__» сентября 2022 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ
для проведения практических занятий по учебной дисциплине

«ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ»

Направление подготовки: 12.03.01 «Приборостроение»

Профиль: «Приборы и методы контроля качества и диагностики»

Разработал: доцент Сытько И.И.

*Обсуждены и одобрены на заседании кафедры
Протокол № 1 от 30 августа 2022 г.*

**САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
2022**

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К ПРОВЕДЕНИЮ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Студенты очной формы обучения выполняют 8 практических заданий во время занятий, предусмотренных учебным расписанием. После выполнения практической части студенты защищают свою работу, отвечая преподавателю на вопросы по теме занятия.

Целью практических занятий является закрепление и практическое использование знаний, полученных при изучении теоретического курса дисциплины «Теория надежности». Умение решать вопросы, связанные с расчетом показателей надежности контрольно-измерительных приборов, включая приборы при наличии резервирования, а также владением методами повышения надежности, расчетом показателей надежности программного обеспечения, определение показателей надежности в процессе испытаний.

Работа оформляется следующим образом:

1. На титульном листе указать название практического занятия, информацию о студенте (ФИО, специальность, курс, группа, шифр).
2. На следующих страницах указать цель занятия, названия заданий, условия (в виде текста или таблиц). Заполнить данными представленными в задании формы; привести все необходимые расчеты, графики; ответить письменно на вопросы.
3. Работа должна заканчиваться результатами расчета и выводом, который можно сформулировать, ориентируясь на цель занятия.

Практические занятия

Практическое занятие № 1. Расчет количественных характеристик безотказности по статистическим данным

Цель занятия

Умение оценивать вероятность безотказной работы, вероятность отказа и интенсивность отказов неремонтируемых объектов.

Задание 1.

На испытание поставлено N однотипных транзисторов. За первые 3000 час отказало $n_1(t)$ транзисторов, а за интервал времени $\Delta t = (3100 - 3000)$ час = 100 час отказало еще $n_2(\Delta t)$ транзисторов. Определить вероятность безотказной работы и вероятность отказа транзисторов в течение 3000 час, а интенсивность отказов в промежутке времени от 3000 час до 3100 час.

Для выполнения задания №1 студент выбирает исходные данные из табл. 1.1 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 1.1

Последняя цифра шифра	Исходные данные		
	N_0	$n_1(t)$	$n_2(\Delta t)$
0	400	100	75
1	410	110	80
2	420	120	85
3	430	130	90
4	440	140	95
5	450	150	100
6	460	160	105
7	470	170	110
8	480	180	115
9	500	200	120

Задание 2.

На испытание поставлено N_0 однотипных невосстанавливаемых датчиков. За время $t=3000$ час отказало $n_1(t)$ датчиков, а за интервал времени $\Delta t=100$ часов отказало $n_2(t)$ датчиков. Определить вероятность безотказной работы датчиков за время t $P(t=3000)$, $P(t=3050)$ и $P(t=3100)$.

Для выполнения задания №2 студент выбирает исходные данные из табл. 1.2 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 1.2

Последняя цифра шифра	Исходные данные		
	N_0	$n_1(t)$	$n_2(\Delta t)$
0	1000	85	44
1	900	90	45
2	950	75	42
3	800	78	40
4	850	82	46
5	840	88	41
6	940	85	50
7	920	80	48
8	880	78	43
9	980	86	47

Задание 3.

На испытании поставлено N_0 экземпляров невосстанавливаемых средств измерений (датчиков). Число отказов $n(\Delta t)$ фиксировалось через каждые 100 час работы ($\Delta t=100$ час). Построить гистограмму интенсивности отказов и плотности распределения вероятности до отказа, а также график вероятности безотказной работы.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.1.3 по предпоследней цифре собственного шифра, а из табл.1.4 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 1.3

Предпоследняя цифра шифра									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество экземпляров испытываемых датчиков N_0									
Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i	Σn_i

Таблица 1.4

Интервал времени Δt_i , час	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	Число отказов $n(\Delta t_i)$									
0-100	49	51	52	47	49	54	50	55	48	55
100-200	38	40	39	37	37	50	47	48	44	51
200-300	29	30	31	30	32	34	33	35	30	32
300-400	24	25	26	25	23	26	24	27	24	25
400-500	20	19	21	20	17	19	18	20	18	17
500-600	18	16	17	14	14	15	14	13	13	16
600-700	16	13	13	14	13	15	13	14	12	14
700-800	15	13	12	12	12	13	12	13	12	12
800-900	15	13	13	13	11	12	12	13	13	12
900-1000	14	12	12	13	13	14	11	15	14	11
1000-1100	13	13	12	14	12	13	13	13	12	13
1100-1200	14	14	12	11	12	13	12	13	12	12
1200-1300	13	13	11	14	12	14	12	14	13	13
1300-1400	13	12	14	13	11	12	13	12	11	12
1400-1500	16	14	14	13	13	14	14	13	15	14
1500-1600	19	16	15	17	15	15	16	17	13	15
1600-1700	25	23	21	23	19	20	19	19	18	19
1700-1800	31	28	24	25	24	25	24	26	27	28
1800-1900	36	33	30	29	31	33	32	35	34	38

Задание 4.

Время работы радиоэлемента КИП до отказа подчинено усеченному нормальному закону с параметрами T_l и σ . Необходимо вычислить количественные характеристики вероятности безотказной работы, интенсивность отказов и среднюю наработку до первого отказа для времени t_1, t_2, t_3, t_4 .

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл. 1.5 по последней цифре собственного шифра. Справочные значения для вычисления функции $\Phi(z)$ приведены в табл.П.1 прил.1.

Таблица 1.5

Последняя цифра шифра	Исходные данные					
	T_1	σ	t , час			
			t_1	t_2	t_3	t_4
0	8000	1500	4000	6000	8000	10000
1	8100	1600	4100	6100	8100	10100
2	8200	1700	4200	6200	8200	10200
3	8300	1800	4300	6300	8300	10300
4	8400	1900	4400	6400	8400	10400
5	8500	2000	4500	6500	8500	10500
6	8600	2100	4600	6600	8600	10600
7	8700	2200	4700	6700	8700	10700
8	8800	2300	4800	6800	8800	10800
9	8900	2400	4900	6900	8900	10900

Указания

Для вычисления показателей безотказности необходимо воспользоваться аналитическими выражениями:

а) плотности распределения вероятности до отказа

$$f(t) = \frac{c}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}}, \quad c = \frac{1}{0,5 + F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}$$

б) вероятности безотказной работы

$$p(t) = \frac{0,5 + F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right)}{0,5 + F\left(\frac{T_1}{\sigma}\right)}$$

в) интенсивности отказов

$$\lambda(t) = \frac{\exp\left(-\frac{(t-T_1)^2}{2\sigma^2}\right)}{\left[0,5 + F\left(\frac{T_1 - t}{\sigma}\right)\right] \cdot \sigma\sqrt{2\pi}}$$

Практическое занятие № 2. Расчет показателей безотказности, восстанавливаемости, долговечности и сохраняемости контрольно-измерительных приборов

Цель занятия

Умение оценивать среднюю наработку на отказ, вероятность безотказной работы, среднее время восстановления и вероятность восстановления за заданное время.

Задание 1.

Измерительная система состоит из 4-х измерительных приборов и одной микро-ЭВМ. Нарботка на отказ 1 – 4 измерительных приборов вместе с каналом управления и передачи измерительной информации составляет соответственно T_{01} , T_{02} , T_{03} , T_{04} , а микро ЭВМ T_{05} .

Определить наработку измерительной системы на отказ и вероятность безотказной работы измерительной системы за время τ_3 .

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.2.1 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 2.1

Последняя цифра шифра	Нарботка на отказ, час					Время τ_3 , час
	T_{01}	T_{02}	T_{03}	T_{04}	T_{05}	
0	3000	2500	4000	5000	4000	20
1	3100	2400	4100	4900	4100	40
2	3200	2300	4200	4800	4200	60
3	3300	2200	4300	4700	4300	95
4	3400	2100	4400	4600	4400	30
5	3500	2000	4500	4500	4500	50
6	3600	2600	4600	4400	4600	25
7	3700	2700	4700	4300	4700	35
8	3800	2800	4800	4200	4800	75
9	3900	2900	4900	4100	4900	85

Задание 2.

На подопытную эксплуатации поставлена измерительная система. За наблюдаемый период было зафиксировано 10 отказов. Время восстановления составило: $t_{в1}; t_{в2}; t_{в3}; t_{в4}; t_{в5}; t_{в6}; t_{в7}; t_{в8}; t_{в9}; t_{в10}$.

Определить среднее время восстановления измерительной системы и вероятность восстановления за заданное время τ_3 .

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.2.2 по предпоследней цифре собственного шифра, а из табл. 2.3 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 2.2

Предпоследняя цифра шифра									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Заданное время восстановления τ_3 , час									
0,5	1	1,5	2	0,8	0,75	1,2	1,75	0,9	1,4

Таблица 2.3

Последняя цифра шифра	Время восстановления, час									
	$t_{в1}$	$t_{в2}$	$t_{в3}$	$t_{в4}$	$t_{в5}$	$t_{в6}$	$t_{в7}$	$t_{в8}$	$t_{в9}$	$t_{в10}$
0	0,2	0,25	0,35	0,4	0,45	0,5	0,45	0,55	0,6	0,65
1	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,1	1,2	1,3	1,3	1,4
2	0,55	0,65	0,75	0,85	0,95	1,15	1,25	1,35	1,35	1,45
3	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
4	1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,8	1,9
5	0,25	0,65	1,5	2	0,45	1,2	1,8	0,9	0,35	1,45
6	0,65	1,1	1,6	0,85	0,3	0,95	1,4	2	1,1	0,55
7	0,75	1,4	0,35	0,95	0,75	0,45	1,8	1,2	1	0,85
8	0,9	0,65	0,25	1	0,95	0,2	1,4	1,1	0,9	1,25
9	0,85	0,5	0,35	1,2	0,8	0,45	1,5	1,25	0,55	1,15

Задание 3.

Электронно-лучевой осциллограф имеет следующие показатели долговечности и сохраняемости:

- гамма-процентный ресурс не менее $T_{с.р.γ}$, час;
- гамма-процентный срок службы не менее $T_{сл.γ}$, лет;

- гамма-процентный срок сохраняемости не менее $T_{xp,\gamma}$, лет для отапливаемых хранилищ;

- гамма-процентный срок сохраняемости не менее $T_{xp,\gamma}$, лет для неотапливаемых хранилищ;

Определить средний ресурс $T_{с.р}$, срок службы $T_{сл}$, срок сохраняемости T_{xp} для отапливаемых и неотапливаемых хранилищ. Плотность распределения среднего ресурса, срока службы и срока сохраняемости подчиняются показательному закону распределения вероятности.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.2.4 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 2.4

Последняя цифра шифра	Гамма-процентный ресурс		Гамма-процентный срок службы		Гамма-процентный срок сохраняемости для отапливаемых хранилищ		Гамма-процентный срок сохраняемости для неотапливаемых хранилищ	
	$T_{с.р, \text{ час}}$	$\gamma, \%$	$T_{сл, \text{ лет}}$	$\gamma, \%$	$T_{xp, \text{ лет}}$	$\gamma, \%$	$T_{xp, \text{ лет}}$	$\gamma, \%$
0	10000	95	6	95	10	90	5	95
1	9000	90	7	90	9	95	4	90
2	8000	85	8	85	8	85	3	85
3	10000	80	9	80	7	80	5	80
4	9000	75	10	75	6	75	4	75
5	8000	70	6	70	10	70	3	70
6	10000	65	7	65	9	65	5	65
7	9000	60	8	60	8	60	4	60
8	8000	55	9	55	7	55	3	55
9	10000	50	10	50	6	50	5	50

Задание 4.

Измерительная система состоит из 10 измерительных приборов (ИП) вместе с каналом управления и передачи измерительной информации. Причем отказ любого из измерительных приборов ведет к отказу измерительной системы. Известно, что за наблюдаемый период i -й измерительный прибор в течение времени наработки t_i отказал n_i раз. Среднее время восстановления i -го измерительного прибора составляет $t_{\delta i}$.

Для измерительной системы определить:

- среднюю наработку отказ;
- среднее время восстановления;
- коэффициент готовности;
- вероятность безотказной работы в течение времени τ ;
- коэффициент оперативной готовности за время τ .

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.2.5 по последней четной или нечетной цифре собственного шифра наработку и количество отказов i -го ИП. По предпоследней четной или нечетной цифре собственного шифра среднее время восстановления i -го ИП. По последней цифре собственного шифра время, в течение которого определяется вероятность безотказной работы и коэффициент оперативной готовности измерительной системы.

Таблица 2.5

Номер СИ	Наработка i -го СИ t_i , час		Количество отказов i -го СИ $n_i(t)$		Среднее время восстановления i -го СИ t_{vi} , час		Последняя цифра шифра	Время τ , час
	Последняя цифра шифра				Предпоследняя цифра шифра			
	четная	нечетная	четная	нечетная	четная	нечетная		
1	952	930	10	12	1,2	1,4	0	50
2	860	800	12	14	1,1	1,15	1	60
3	800	840	5	4	0,8	0,65	2	70
4	850	810	7	9	0,6	0,75	3	80
5	720	760	5	7	1,5	1,1	4	90
6	700	730	7	5	0,7	0,95	5	95
7	750	780	9	7	0,9	0,85	6	55
8	900	940	15	12	0,6	0,45	7	65
9	910	970	11	16	1,4	1,75	8	75
10	680	640	6	8	1,15	1,25	9	85

Практическое занятие № 3. Надежность элементов и контрольно-измерительных приборов на этапе проектирования.

Цель занятия

Умение оценивать интенсивность отказов элементов в зависимости от окружающей температуры, электрического режима и условий эксплуатации и относительной влажности и овладение методами оценки показателей надежности контрольно-измерительного прибора на этапе проектирования.

Задание 1.

Блок питания измерительного генератора состоит $N_{тр}$ транзисторов, N_k конденсаторов и N_p резисторов. Все элементы блока питания работают в нормальный период эксплуатации. Наименование и тип элемента, температура, коэффициент электрической нагрузки, условия эксплуатации и относительная влажность приведены в табл.3.1 и табл.3.2.

Определить: среднюю наработку блока питания до первого отказа; вероятность безотказной работы блока питания в течение t часов.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.3.1 по предпоследней четной или нечетной цифре собственного шифра, а по табл.3.2 по последней четной или нечетной цифре собственного шифра.

Таблица 3.1

Предпоследняя цифра шифра	Условия эксплуатации		Поправочный коэффициент α_3		Время работы t , час
	Вибрации α_1	Ударные нагрузки α_2	Относительная влажность, %	Температура, °C	
нечетная	автомобильные		92	25	8
	1,35	1,08	2,0		
четная	железнодорожные		95	35	10
	1,4	1,1	2,5		

Таблица 3.2

Последняя цифра шифра	Наименование и тип элемента	Количество элементов			Режим работы	
		Транзисторов $N_{тр}$, шт.	Резисторов $N_{р}$, шт.	Конденсаторов $N_{к}$, шт.	Температура, $^{\circ}C$	Коэффициент нагрузки, K_n
нечетная	Транзисторы высокочастотные кремниевые	3			55	0,8
четная	Транзисторы высокочастотные германиевые	4			50	0,75
нечетная	Резисторы МЛТ		6		45	0,6
четная	Резисторы ОМЛТ		7		50	0,7
нечетная	Резисторы переменные проволочные		3		40	0,8
четная	Резисторы переменные проволочные		2		45	0,85
нечетная	Конденсаторы стеклокерамические СКМ			2	60	0,7
четная	Конденсаторы слюдяные			1	40	0,6
нечетная	Конденсаторы с керамической изоляцией			1	50	0,8
четная	Конденсаторы с металлобумажной изоляцией БМТ			2	40	0,5

Задание 2.

Исходными данными для выполнения данного задания являются:

1. Принципиальная электрическая схема узла контрольно-измерительного прибора (выдается преподавателем).

2. Максимальные значения интенсивностей отказов элементов и среднего времени восстановления (определяется студентом самостоятельно по табл. П.2 прил.2 и табл. П.3 прил.3).

3. Значения обобщенного эксплуатационного коэффициента K_z для помещений с регулируемой температурой и влажностью выбирают равным 1,1.

4. Значения заданного времени наработки τ_{zn} при расчете вероятности безотказной работы КИП выбирают из табл.3.3 по последней цифре собственного шифра студента.

5. Гамма-процентная наработка до отказа определяется при $\gamma=90\%$.

6. Значение заданного времени восстановления $\tau_{зв}$ при расчете вероятности восстановления в заданное время выбирают из табл.3.3 по последней цифре собственного шифра студента.

7. Гамма-процентный срок службы определяется при $\gamma=95\%$ и среднем сроке службы 10 лет.

8. Гамма-процентный срок сохраняемости КИП определяется при $\gamma=90\%$ и среднем сроке сохраняемости 5 лет.

9. Значение заданного времени непрерывной работы $\tau_{зр}$ при определении коэффициента оперативной готовности КИП выбирают из табл.3.3 по последней цифре собственного шифра.

Расчетные показатели надежности свести в табл.3.4.

Составить план доклада и подготовить устное выступление по результатам расчета показателей надежности КИП.

Таблица 3.3

Последняя цифра шифра	Значение заданного времени		
	Наработка $\tau_{зн}$, час	Восстановления $\tau_{зв}$, час	Непрерывной работы $\tau_{зр}$, час
0	1000	1	10
1	1100	2	9
2	1200	3	8
3	1300	4	7
4	1400	5	6
5	1500	1	5
6	1600	2	4
7	1700	3	3
8	1800	4	2
9	1900	5	1

Таблица 3.4

№ п/п	Наименование показателя надежности	Расчетное значение
1	Наработка на отказ, час	
2	Вероятность безотказной работы за заданное время наработки $\tau_{зн} = \dots$ час	
3	Гамма-процентная наработка до отказа при $\gamma = 90\%$, час	
4	Среднее время восстановления, час	
5	Вероятность восстановления за заданное время $\tau_{зв} = \dots$ час.	
6	Коэффициент готовности	
7	Вероятность безотказной работы за заданное время непрерывной работы $\tau_{зн} = \dots$ час	
8	Коэффициент оперативной готовности за заданное время непрерывной работы $\tau_{зн} = \dots$ час	
9	Гамма-процентный срок службы при $\gamma = 95\%$, лет	
10	Гамма-процентный срок сохраняемости при $\gamma = 90\%$, лет	

*Примечание: наработка на отказ – цифра кратная 10; среднее время восстановления – после запятой одна цифра; вероятность безотказной работы за заданное время непрерывной работы – после запятой не менее 5 цифр; вероятность восстановления за заданное время – после запятой не менее 5 цифр; коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности – после запятой не менее 5 цифр; гамма-процентная наработка до отказа – целое число кратная 5; гамма-процентный срок службы – после запятой одна цифра; гамма-процентный срок сохраняемости – после запятой одна цифра

Практическое занятие № 4. Определение количественных значений характеристик надежности средств измерений по результатам испытаний.

Расчет надежности программного обеспечения

Цель занятия

Умение оценивать показатели безотказности средств измерений по результатам испытаний, ориентировочно оценивать единичные показатели надежности программного обеспечения на различных этапах создания программно-управляемого изделия.

Задание 1.

План $[N, B, M]$. При испытании $N = 10$ контрольно-измерительных приборов до выхода их из строя получены следующие значения наработки в часах $t_1, t_2, t_3, t_4, t_5, t_6, t_7, t_8, t_9, t_{10}$.

Требуется определить:

1. Оценку $\tilde{\lambda}$ интенсивности отказов λ .
2. Верхнюю доверительную границу $\lambda_в$ с доверительной вероятностью 0,90.
3. Оценку средней наработки до отказа \tilde{T} и его нижнюю границу с вероятностью 0,90.
4. Двусторонний доверительный интервал для λ при $P = 0,90$ и $\alpha = \beta = 0,05$.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.4.1 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 4.1

Последняя цифра шифра	Наработка до отказа i -го средства измерений в часах									
	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6	t_7	t_8	t_9	t_{10}
0	300	350	500	850	900	550	950	600	650	700
1	200	450	400	750	850	480	990	420	890	780
2	570	350	720	870	990	430	390	640	690	980
3	470	680	220	790	670	380	460	910	580	850
4	380	470	920	870	490	420	960	750	970	120
5	280	780	860	580	610	760	700	110	180	990
6	490	330	340	490	870	480	690	150	930	300
7	910	870	120	970	930	880	210	310	400	490
8	560	680	890	790	270	380	820	490	160	250
9	620	540	270	580	480	950	490	780	110	980

Указания.

Выполнение данного задания проводится в следующей последовательности.

1. Определение суммарной наработки КИП по формуле:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n t_i.$$

2. Определение оценки интенсивности отказов по формуле:

$$\tilde{\lambda} = \frac{n}{t_{\Sigma}}.$$

3. Определение верхней доверительной границы интенсивности отказов с доверительной вероятностью $P = 0,90$ по формуле:

$$\lambda_{\epsilon} = \frac{\chi_{(P)(2N)}^2}{2 \cdot t_{\Sigma}}.$$

По табл. П.4 прил.4 «Квантили распределения хи-квадрат» при доверительной вероятности $P = 0,90$ и числе степеней свободы $k = 2N$ определяем χ^2 .

4. Определение оценки средней наработки до отказа и его нижней границы по формулам:

$$\tilde{T} = \frac{1}{\tilde{\lambda}},$$

$$T_n = \frac{1}{\lambda_{\epsilon}}.$$

5. Определение двустороннего доверительного интервала для λ при $P = 0,90$ и $\alpha = \beta = 0,05$ по формулам:

$$\lambda_{\epsilon} = \frac{\chi_{(\beta)(2N)}^2}{2 \cdot t_{\Sigma}},$$

$$\lambda_n = \frac{\chi_{(1-\alpha)(2N)}^2}{2 \cdot t_{\Sigma}}.$$

По табл.П.4 прил.4 при вероятности β и числе степеней свободы $k = 2N$ определяем $\chi_{(\beta)(2N)}^2$, а при вероятности $1 - \alpha$ соответственно $\chi_{(1-\alpha)(2N)}^2$.

Задание 2.

По техническим условиям напряжение на выходе генератора сигналов низкочастотного должно составлять $(U \pm \Delta U)$ В. После испытания 20 генераторов получены оценки среднего значения \tilde{U} и среднеквадратического значения S_u . Оценить вероятность выполнения технических условий работы генератора по данному параметру.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.4.2 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 4.2

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
U_n , В	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\pm \Delta U$, В	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55
Оценка параметра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\tilde{U} , В	1,05	0,98	2,1	1,95	4,8	4,9	10,3	10,1	14,5	15,2
S_u , В	0,08	0,1	0,12	0,15	0,18	0,2	0,25	0,3	0,35	0,8

Указания.

Если рассматриваются постепенные отказы, а выполнение технических условий определяется вероятностью того, напряжение U сигнала на выходе генератора не выйдет за допустимые пределы $U_{дв} = U_n + \Delta U$ и $U_{дн} = U_n - \Delta U$, ($U_{дн} \leq U \leq U_{дв}$), то оценка вероятности производится по формуле:

$$\tilde{P}(U) = \Phi\left(\frac{U_{дв} - \tilde{U}}{S_u}\right) - \Phi\left(\frac{U_{дн} - \tilde{U}}{S_u}\right)$$

с использованием табл. П.1 прил.1 «Значения нормированной функции Лапласа».

Задание 3.

Рассчитать вероятность того, что ошибки программного обеспечения средств измерений не проявятся на различных этапах отработки программ в интервале $0 - t$.

Предполагать, что программные ошибки подчиняются экспоненциальному распределению.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.4.3 по предпоследней цифре собственного шифра, а из табл.4.4 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 4.3

Интервал времени t , час	Предпоследняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	100	90	80	70	60	140	110	120	130	50

Таблица 4.4

Период отработки программ	Последняя цифра шифра											
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9		
	Интенсивность программных ошибок z , час ⁻¹											
Начальный период комплексной отладки	0,05		0,08		0,09		0,1		0,12		0,13	
Завершение комплексной отладки	0,01		0,03		0,07			0,06		0,08		
Начальный период опытной эксплуатации	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$		$5,5 \cdot 10^{-3}$		$8,5 \cdot 10^{-3}$	$9 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$
Завершение опытной эксплуатации	$0,5 \cdot 10^{-4}$			$3,5 \cdot 10^{-4}$				$2,5 \cdot 10^{-4}$		$5 \cdot 10^{-4}$		

Практическое занятие № 5. Расчет показателей безотказности контрольно-измерительных приборов при наличии резервирования

Цель занятия

Умение оценивать показатели безотказности технических устройств КИП при резервировании.

Задание 1.

Дан блок СИ, схема расчета надежности которого изображена на рис. 5.1. Блок состоит из двух (I и II) неравнонадежных субблоков. Субблок I состоит из четырех узлов:

- а) дублированного узла с постоянно включенным резервом, причем каждая часть узла состоит из трех последовательно соединенных элементов расчета;
- б) резервируемого узла с кратностью 1/1;
- в) узла с одним нерезервируемым элементом;
- г) резервируемого узла с кратностью 1/2.

Элементы каждого из узлов субблока I равнонадежны.

Субблок II представляет собой нерезервируемое устройство, надежность которого известна.

Необходимо найти вероятность безотказной работы блока средства измерений при известных вероятностях безотказной работы ее элементов.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл. 5.1 по последней цифре собственного шифра, из табл. 5.2 по предпоследней цифре собственного шифра.

Таблица 5.1

Предпоследняя цифра шифра	Вероятность безотказной работы элемента расчета субблока II средства измерений
0	0,98
1	0,97
2	0,96
3	0,95
4	0,94
5	0,93
6	0,92
7	0,91
8	0,90
9	0,99

Таблица 5.2

Последняя цифра шифра	Вероятность безотказной работы элементов расчета субблока I средства измерений			
	Узел - а	Узел -б	Узел -в	Узел -г
0	0,85	0,80	0,90	0,75
1	0,86	0,81	0,91	0,76
2	0,87	0,82	0,92	0,77
3	0,88	0,83	0,93	0,78
4	0,89	0,84	0,94	0,79
5	0,90	0,85	0,95	0,80
6	0,91	0,86	0,90	0,81
7	0,92	0,87	0,91	0,82
8	0,93	0,88	0,92	0,83
9	0,94	0,89	0,93	0,84

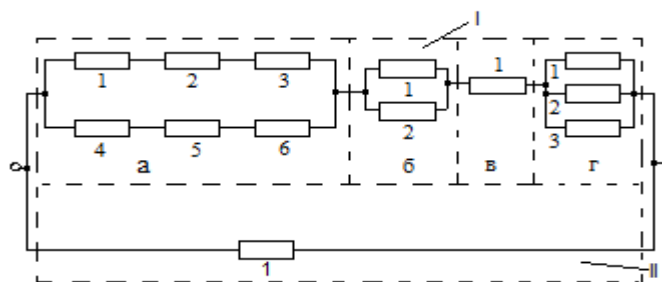


Рис. 1. Схема расчета надежности блока контрольно-измерительного прибора

Задание 2.

Вероятность безотказной работы измерительного канала одноканальной измерительной системы в течение t часов равна P . Для повышения надежности измерительной системы имеется дополнительный измерительный канал, который включается в работу при отказе основного. Требуется рассчитать вероятность безотказной работы $P_{ис}$ в течение времени t и среднюю наработку до первого отказа $T_{ср}$ измерительной системы, состоящей из двух каналов, а также построить зависимость от времени интенсивности отказов $\lambda(t)$ системы.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.5.3 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 5.3

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Время t , час	1000	1050	950	900	850	800	1100	1150	1200	1250
$P(t)$	0,92	0,93	0,9	0,85	0,83	0,8	0,94	0,95	0,96	0,97

Задание 3.

Измерительная система состоит из N равнонадежных элементов, средняя наработка до первого отказа T_{cp} элемента равна t часов. Предполагается, что справедлив экспоненциальный закон надежности для элементов системы. Основная и резервная системы равнонадежны. Необходимо найти среднюю наработку до первого отказа T_{cp} системы, а также интенсивность отказов $\lambda_c(t)$ в момент времени t часов в следующих случаях:

- нерезервируемой системы;
- дублированной системы при постоянно включенном резерве;
- дублированной системы при включении резерва по способу замещения.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл. 5.4 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 5.4

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Количество элементов системы N , шт.	10	11	8	9	12	13	14	7	6	15
Средняя наработка до первого отказа элемента T_{cp} , час	1000	1100	1500	1550	1800	1700	1600	2000	2100	1900
Время t , час	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140

Практическое занятие № 6. Расчет ЗИП для контрольно-измерительных приборов*Цель занятия*

Умение рассчитывать групповой ЗИП и ЗИП россыпью для контрольно-измерительных приборов.

Задание 1.

Рассчитать требуемое количество комплектов ЗИП-Г для ремонтных и метрологических органов по ремонту электронно-лучевых осциллографов, если наработка на отказ прибора составляет не менее T_0 часов. Количество осциллографов ежегодно планируемых к ремонту составляет N_p штук, а период, на который рассчитан комплект ЗИП-Г составляет τ_n лет. Количество осциллографов, на которые рассчитаны ЗИП-Г составляет S штук.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.6.1 по последней и предпоследней цифре собственного шифра.

Таблица 6.1

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Наработка на отказ T_0 х (10^3), час	3		4		5		6		7	
Количество приборов ежегодно планируем- ых к ремонту N_p , шт.	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Период на который рассчитан ЗИП τ_n , лет.	2					3				
Количество прибо- ров, на которое рас- считан ЗИП S , шт.	Предпоследняя цифра шифра									
	10			15				20		

Практическое занятие № 7. Расчет межповерочных интервалов контрольно-измерительных приборов

Цель занятия

Умение оценивать единичные показатели метрологической надежности контрольно-измерительных приборов на этапе опытной эксплуатации, рассчитывать и корректировать межповерочный интервал на этапе эксплуатации.

Задание 1.

На опытную эксплуатацию было поставлено N КИП. Опытная эксплуатация проводилась L лет. Суммарная наработка КИП за L лет составила τ часов. За этот период M КИП имели метрологические отказы. Доля метрологических характеристик, не охваченных встроенным контролем составляет K_m , а усредненная оценка коэффициента скрытых отказов приборов-аналогов, характеризующих долю метрологических отказов составляет K_c . Первоначально установленный МПИ составляет $\tau_{\text{МПИ}}$ месяцев, наработка на отказ T часов.

Определить:

- коэффициент использования КИП за L лет;
- вероятность сохранения значений метрологических характеристик в заданных пределах в течение МПИ.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.7.1 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 7.1

Последняя цифра шифра	Наименование средств измерений	N , шт.	L , лет	τ , час($\times 10^5$)	$\tau_{\text{мп}}$, мес.	M , шт.	K_u	K_c	Наработка на Отказ T , час
0	Электронные осциллографы	100	2	1,25	24	10	0,5	0,16	7000
1	Электронные вольтметры	150	3	2,5	36	13	0,3	0,15	8000
2	Электронно-счетные частотомеры	90	1	0,75	12	11	0,6	0,18	3000
3	Генераторы измерительные высокочастотные	125	2	1,35	24	14	0,4	0,2	2500
4	Анализаторы спектра	85	1	0,65	12	8	0,4	0,17	2000
5	Измерители мощности	130	2	1,95	24	15	0,35	0,23	3000
6	Генераторы импульсные	110	2	1,55	24	13	0,35	0,19	3500
7	Приборы для измерения разности фаз	115	2	1,45	24	14	0,3	0,21	3000
8	Приборы для измерения характеристик радиоустройств	90	1	0,85	12	7	0,35	0,14	3000
9	Усилители измерительные	95	3	2,85	36	10	0,2	0,13	6000

Задание 2.

В техническом описании на рабочее средство измерений задана средняя наработка на отказ T_0 (часах), коэффициент использования K_u , коэффициент метрологических отказов χ . Требуемый уровень метрологической надежности составляет $P_{\text{м.тр}}$.

Определить:

- среднюю наработку на метрологический отказ $T_{\text{ом}}$;
- первичный межповерочный интервал τ^n .

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.7.2 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 7.2

Последняя цифра шифра	Наименование средств измерений	Коэффициент метрологических отказов χ	Коэффициент использования СИ K_u	Требуемый уровень метрологической надежности $P_{м.тр.}$	Наработка на отказ T , час
0	Электронные осциллографы	0,28	0,062	0,85	5000
1	Электронные вольтметры	0,36	0,24	0,9	6000
2	Электронно-счетные частотомеры	0,4	0,051	0,85	2500
3	Измерители импеданса	0,21	0,044	0,9	3000
4	Анализаторы спектра	0,28	0,054	0,85	1500
5	Генераторы НЧ	0,4	0,022	0,9	2500
6	Щитовые СИ электрических величин	0,22	0,21	0,85	4500
7	СИ давления	0,27	0,49	0,9	2000
8	СИ расхода жидкости	0,25	0,34	0,85	2000
9	СИ температуры	0,23	0,28	0,9	4000

Задание 2.

Скорректировать межповерочный интервал рабочих КИП с учетом результатов эксплуатации, если межповерочный интервал, установленный для эксплуатируемых КИП составляет τ лет. Количество поверяемых КИП N штук, количество КИП имеющих метрологические отказы составило M штук. Требуемый уровень метрологической надежности составляет $P_{м.тр.}$

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.7.3 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 7.3

Предпоследняя цифра шифра	Межповерочный интервал τ , лет	Количество поверяемых КИП N , шт.	Количество КИП с метрологическими отказами M , шт	Требуемый уровень метрологической надежности $P_{м.тр.}$
0	2	1300	120	0,85
1	1	1400	132	0,9
2	3	1500	145	0,85
3	1	1600	151	0,9
4	2	1700	164	0,85
5	3	1800	172	0,9
6	1	1900	183	0,85
7	2	1350	121	0,9
8	3	1450	136	0,85
9	2	1550	148	0,9

Практическое занятие № 8. Расчет допусков на параметры контрольно-измерительных приборов

Цель занятия

Умение расчета производственного допуска на параметры контрольно-измерительных приборов.

Задание 1.

По техническим условиям напряжение на выходе генератора сигналов низкочастотного должно составлять $(U \pm \Delta U)$ В. После испытания 20 генераторов получены оценки среднего значения \tilde{U} и среднеквадратического значения S_u . Оценить вероятность выполнения технических условий работы генератора по данному параметру.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.8.1 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 8.1

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$U_n, В$	1		2		5		10		15	
$\pm \Delta U, В$	0,1		0,15		0,25		0,5		1	
Оценка параметра	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\tilde{U}, В$	1,05	0,98	2,1	1,95	4,8	4,9	10,3	10,1	14,5	15,2
$S_u, В$	0,08		0,12		0,18		0,3		0,8	

Указания

Если рассматриваются постепенные отказы, а выполнение технических условий определяется вероятностью того, напряжение U сигнала на выходе генератора не выйдет за допустимые пределы $U_{дв} = U_n + \Delta U$ и $U_{дн} = U_n - \Delta U$, ($U_{дн} \leq U \leq U_{дв}$), то оценка вероятности производится по формуле:

$$\tilde{P}(U) = \Phi\left(\frac{U_{дв} - \tilde{U}}{S_u}\right) - \Phi\left(\frac{U_{дн} - \tilde{U}}{S_u}\right)$$

с использованием табл. П.1 прил.1 «Значения нормированной функции Лапласа».

Задание 2.

Определить производственный допуск на выходной параметр (постоянная времени) RC -цепи. В RC -цепи использованы дискретные элементы.

Для параметра R принимаем гипотезу о равномерном законе распределения вероятности, так как его предельные относительные отклонения относительно малы. Следовательно, коэффициент относительного рассеивания $K_R = \sqrt{3}$.

Для параметра C принимаем гипотезу о нормальном законе распределения вероятности, так как его предельные относительные отклонения достаточно широкие. Следовательно, коэффициент относительного рассеивания $K_C = 1$.

Коэффициенты влияния параметров R и C принимаем равными $B_R = B_C = 1$. Так как элементы R и C дискретные, то принимаем, что корреляционная зависимость между ними отсутствует и $r_{R,C} = 0$.

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.8.2 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 8.2

Параметры RC-цепи	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
R_H , кОм	1		2		5		10		20	
Допуск $\delta_{R\epsilon}$, %	+5	+2	+4	+8	+6	+8	+6	+5	+3	+4
Допуск δ_{RH} , %	-5	-5	-3	-3	-5	-5	-3	-4	-5	-6
C_H , мкФ	1		2		5		10		20	
Допуск $\delta_{C\epsilon}$, %	+9	+5	+7	+5	+4	+10	+20	+15	+15	+20
Допуск δ_{CH} , %	-6	-9	-9	-6	-9	-15	-10	-8	-15	-5

Указания

1. На основании исходных данных определяем необходимые параметры для определения производственного допуска по формулам:

$$\delta\left(\frac{\Delta\tau}{\tau}\right)_{np} = \sqrt{B_R^2 \cdot \left(\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{np}\right)^2 \cdot K_R^2 + B_C^2 \cdot \left(\delta\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{np}\right)^2 \cdot K_C^2},$$

где

$$\delta\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{np} = \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_{\max} - M\left(\frac{\Delta R}{R}\right),$$

$$M\left(\frac{\Delta R}{R}\right) = \frac{\left(\frac{\Delta R}{R}\right)_H + \left(\frac{\Delta R}{R}\right)_\epsilon}{2},$$

$$\delta\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{np} = \left(\frac{\Delta C}{C}\right)_{\max} - M\left(\frac{\Delta C}{C}\right),$$

$$M\left(\frac{\Delta C}{C}\right) = \frac{\left(\frac{\Delta C}{C}\right)_H + \left(\frac{\Delta C}{C}\right)_\epsilon}{2},$$

$$M\left(\frac{\Delta\tau}{\tau}\right)_{np} = K_R \cdot M\left(\frac{\Delta R}{R}\right) + K_C \cdot M\left(\frac{\Delta C}{C}\right).$$

2. Определяем производственный допуск, который может быть установлен в виде

$$\Delta_{np} = M\left(\frac{\Delta\tau}{\tau}\right)_{np} \pm \delta\left(\frac{\Delta\tau}{\tau}\right)_{np},$$

$$M\left(\frac{\Delta\tau}{\tau}\right)_{np} = M\left(\frac{\Delta R}{R}\right) + M\left(\frac{\Delta C}{C}\right).$$

Задание 3.

Напряжение постоянного тока блока питания измерительного прибора аппроксимируется линейной функцией

$$U(t) = U_0 + ct,$$

где U_0 и c – случайные величины, которые подчиняются нормальному закону распределения вероятности с параметрами $\bar{U}_0, \sigma_{U_0}, \bar{c}, \sigma_c$.

Требуется:

1. Определить вероятность того, что за время t напряжение не достигает верхнего или нижнего допустимого значения $U_{\text{дв}}, (U_{\text{дн}})$, изменение параметра аппроксимируется линейной функцией.

2. Определить время T в течении которого напряжение достигает верхнего или нижнего допустимого значения $U_{\text{дв}}, (U_{\text{дн}})$ при заданной вероятности P .

Для выполнения задания студент выбирает исходные данные из табл.8.3 по последней цифре собственного шифра.

Таблица 8.3

Параметр	Последняя цифра шифра									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
\bar{U}_0, B	+5	-5	+12	-12	+20	-20	+25	+25	+50	-50
σ_{U_0}, B	0,25		0,7		1,5		2		4	
$\bar{c}, B/\text{ч}$	$4 \cdot 10^{-4}$		$9 \cdot 10^{-4}$		$8 \cdot 10^{-4}$		$3 \cdot 10^{-3}$		$4 \cdot 10^{-3}$	
$\sigma_c, B/\text{ч}$	$2 \cdot 10^{-3}$		$6 \cdot 10^{-3}$		$5 \cdot 10^{-3}$		$7 \cdot 10^{-3}$		$3 \cdot 10^{-3}$	
$U_{\text{дв}}, B$	+5,5	-4,5	+13	-11	+22	-22	+25	-25	+55	-55
$t, \text{ час}$	600		700		800		900		1000	
Вероятность P	0,9		0,85		0,95		0,997		0,8	

Указания

1. Определяем тренд среднего значения функции $U(t)$ по формуле:

$$\bar{U}(t) = \bar{U}_0 + \bar{c} \cdot t.$$

2. Определяем тренд среднего квадратического значения функции $U(t)$ по формуле:

$$\sigma_u(t) = \sqrt{\sigma_{U_0}^2 + \sigma_c^2 \cdot t^2}.$$

3. Вычисляем вероятность того, что напряжение постоянного тока блока питания измерительного прибора за время t не выйдет за верхнее (нижнее) допустимое значение $U_{\text{дв}}, (U_{\text{дн}})$. по формулам:

$$P(t) = 0,5 + \Phi\left(\frac{Y_{\text{дв}} - \bar{Y}(t)}{\sigma_{c_N}(t)}\right)$$

$$P(t) = 0,5 - \Phi\left(\frac{Y_{\text{дн}} - \bar{Y}(t)}{\sigma_{c_N}(t)}\right)$$

4. Задавая вероятность P при которой напряжение достигает верхнего или нижнего допустимого значения $U_{\text{дв}}, (U_{\text{дн}})$, определить время T (обратная задача)

*Примечание. При решении задачи необходимо использовать табл.П.1 прил.1 «Нормированная функция Лапласа».

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В методических указаниях приводятся 8 практических занятий, которые построены по алгоритму: тема и цель занятия; практические задания и указания к их выполнению, включая справочный материал.

Для понимания основных вопросов практических занятий, студентам необходимо обратиться к библиографическому списку, текстам лекций по дисциплине и своему конспекту.

Методические указания позволят студентам определить роль и место курса «Теория надежности» по направлению подготовки 12.03.01 – «Приборостроение», а также Российской промышленности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Сытько И.И.* Основы надежности средств измерений: Учебно-методический комплекс/Национальный минерально-сырьевой университет «Горный». – СПб.: НМСУ, 2014. – 150 с.
2. *Черкесов Г. Н.* Надежность аппаратно-программных комплексов: Учебное пособие. – СПб.: Питер, 2005.– 479 с.
3. *Шишмарев В. Ю.* Надежность технических систем: учебник для студентов высших учебных заведений/ В.Ю. Шишмарев. – М.: Издательский центр «Академия», 2010.– 304 с.
4. *Половко А.М.* Основы теории надежности /А.М. Половко, С.В. Гуров. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.:БХВ – Петербург, 2008.– 704 с.
5. *Ушаков И. А.* Курс теории надежности систем: уч. пособие для вузов / И. А. Ушаков. – М.: Дрофа, 2008.–239 с.
6. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. Издательство стандартов. – 1990.
7. Надежность в технике. Основные понятия, термины и определения. ГОСТ 27.002-89. Издательство стандартов.– 1990.
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.– 280 с.
9. *Боровиков, С.М.* Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.
10. *Большов, Л.Н.* Таблицы математической статистики/Л.Н. Большов, Н.В.Смирнов. – М.: Наука, 1983. – 416 с.
11. *Голинкевич, Т. А.* Прикладная теория надежности. Учебник пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1985. – 167 с.
12. ГОСТ Р 8.654-2009. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения. – М.: Стандартинформ, 2009.
12. *Кузнецов А.П.* Основы теории надежности и эксплуатации вооружения: учебное пособие/А.П. Кузнецов, Ю.А. Сергеев, А.М. Широков. – Мн.: Изд-во МВИЗРУ, 1978. – 326.
13. Метрологическое обеспечение и эксплуатация измерительной техники/Г.П. Богданов, В.А. Кузнецов, М.А. Лотов и др.// Под ред. В.А. Кузнецова. – М.: Радио и связь, 1990. – 240 с.
14. 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.–280 с.

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Значения нормированной функции Лапласа

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

Таблица П.1

z	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0040	0,0080	0,0120	0,0160	0,0199	0,0239	0,0279	0,0319	0,0359
0,1	03983	04380	04776	05172	05567	05962	06356	06749	07142	07535
0,2	07926	08317	08706	09095	09483	09871	10257	10642	11026	11409
0,3	11791	12172	12552	12930	13307	13683	14058	14431	14803	15173
0,4	15542	15910	16276	16640	17003	17364	17724	18082	18439	18793
0,5	19146	19497	19847	20194	20540	20884	21226	21566	21904	22240
0,6	22575	22907	23237	23565	23891	24215	24537	24857	25175	25490
0,7	25804	26115	26424	26730	27035	27337	27637	27935	28230	28524
0,8	28814	29103	29389	29673	29955	30234	30511	30785	31057	31327
0,9	31594	31859	32121	32381	32639	32894	33147	33398	33646	33891
1,0	34134	34375	34614	34850	35083	35314	35543	35769	35993	36214
1,1	36433	36650	36864	37076	37286	37493	37698	37900	38100	38298
1,2	38493	38686	38877	39065	39251	39435	39617	39796	39973	40147
1,3	40320	40490	40658	40824	40988	41149	41309	41466	41621	41774
1,4	41924	42073	42220	42364	42507	42647	42786	42922	43056	43189
1,5	43319	43448	43574	43699	43822	43943	44062	44179	44295	44408
1,6	44520	44630	44738	44845	44950	45053	45154	45254	45352	45449
1,7	45543	45637	45728	45818	45907	45994	46080	46164	46246	46327
1,8	43407	46485	46562	46638	46712	46784	46856	46926	46995	47062
1,9	47128	47193	47257	47320	47381	47441	47500	47558	47615	47670
2,0	47725	47778	47831	47882	47932	47982	48030	48077	48124	48169
2,1	48214	48257	48300	48341	48382	48422	48461	48500	48537	48574
2,2	48610	48645	48679	48713	48745	48778	48809	48840	48870	48899
2,3	48928	48956	48983	49010	49036	49061	49086	49111	49134	49158
2,4	49180	49202	49224	49245	49266	49286	49305	49324	49343	49361
2,5	49379	49396	49413	49430	49446	49461	49477	49492	49506	49520
2,6	49534	49547	49560	49573	49585	49598	49609	49621	49632	49643
2,7	49653	49664	49674	49683	49693	49702	49711	49720	49728	49736
2,8	49744	49752	49760	49767	49774	49781	49788	49795	49801	49807
2,9	49813	49819	49825	49831	49836	49841	49846	49851	49856	49861

ПРИЛОЖЕНИЕ 2

Максимальные значения интенсивностей отказов элементов средств измерений
(для учебных целей)

Таблица П.2

Наименование элемента (группа, вид, тип)	Интенсивность отказов $\times 10^{-6}$ 1/час
1	2
Полупроводниковые цифровые интегральные схемы 4-й степени интеграции	0,60
Полупроводниковые аналоговые интегральные схемы 3-й степени интеграции	0,65
Транзисторы кремниевые малой мощности	0,40
Транзисторы кремниевые средней мощности	0,45
Транзисторы кремниевые большой мощности	0,50
Транзисторы германиевые малой мощности	0,65
Диоды высокочастотные кремниевые	0,20
Стабилитроны	0,30
Диоды выпрямительные	0,15
Резисторы постоянные ОМЛТ	0,40
Резисторы постоянные МЛТ	0,35
Резисторы переменные проволочные	1,20
Конденсаторы керамические	0,05
Конденсаторы бумажные	0,07
Конденсаторы электролитические алюминиевые	0,55
Трансформаторы входные	0,90
Тумблеры, кнопки	0,40
Дроссели высокочастотные	0,25
Платы печатного монтажа	0,20
Гнезда, клеммы	0,70
Переключатели галетные	0,40
Предохранители	5,00
Провод монтажный	0,60
Пайки	0,02
Миллиамперметр	5,5

ПРИЛОЖЕНИЕ 3

Средние значения времени восстановления элементов средств измерений
(для учебных целей)

Таблица П.3

Наименование элемента (группа, вид, тип)	$t_{вп}$, ч
1	2
Цифровые интегральные схемы малой и средней степени интеграции	1,5
Аналоговые интегральные схемы малой и средней степени интеграции	1,2
Транзисторы большой мощности	0,7
Транзисторы средней и малой мощности	0,8
Диоды (кроме выпрямительных)	0,6
Диоды выпрямительные	0,4
Резисторы постоянные	0,5
Резисторы переменные	1,2
Конденсаторы неполярные	1,1
Конденсаторы электролитические	0,55
Блоки выпрямительные	0,4
Диоды (кроме выпрямительных)	0,4
Трансформаторы	2,2
Тумблеры, кнопки	0,6
Трансформаторы	1,3
Платы печатного монтажа	3,0
Пайки	0,5
ТЭЗы устройств цифровой обработки информации	0,5
Соединители (разъемы)	2,0
Переключатели	0,7
Предохранители	0,1
Индикаторные устройства	1,5
Монтажные провода	0,5
Реле	0,6
Шнуры питания	0,3
Сигнальные и индикаторные лампочки	0,2
Дроссели	1,4
Зажимы, гнезда, клеммы	0,8
Стабилитроны	0,5
Миллиамперметр	1,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 4
Квантили распределения хи-квадрат

Таблица П.4

Число степеней свободы k	Вероятность P					
	0,025	0,05	0,1	0,9	0,95	0,975
1	0,00098	0,0039	0,016	2,71	3,84	5,02
2	0,051	0,103	0,211	4,61	5,99	7,38
3	0,216	0,352	0,584	6,25	7,81	9,35
4	0,484	0,711	1,06	7,78	9,49	11,1
5	0,831	1,15	1,61	9,24	11,1	12,8
6	1,24	1,64	2,20	10,6	12,6	14,4
7	1,69	2,17	2,83	12,0	14,1	16,0
8	2,18	2,73	3,49	13,4	15,5	17,5
9	2,70	3,33	4,17	14,7	16,9	19,0
10	3,25	3,94	4,87	16,0	18,3	20,5
11	3,82	4,57	5,58	17,3	19,7	21,9
12	4,40	5,23	6,30	18,5	21,0	23,3
13	5,01	5,89	7,04	19,8	22,4	24,7
14	5,63	6,57	7,79	21,1	23,7	26,1
15	6,26	7,26	8,55	22,3	25,0	27,5
16	6,91	7,96	9,31	23,5	26,3	28,8
18	8,23	9,39	10,9	26,0	28,9	31,5
20	9,59	10,9	12,4	28,4	31,4	34,2
22	11,0	12,3	14,0	30,8	33,9	36,8
24	12,4	13,8	15,7	33,2	36,4	39,4
26	13,8	15,4	17,3	35,6	38,9	41,9
28	15,3	16,9	18,9	37,9	41,3	44,5
30	16,8	18,5	20,6	40,3	43,8	47,0
35	20,6	22,5	24,8	46,1	49,9	53,2
40	24,4	26,5	29,1	51,8	55,8	59,3
45	28,4	30,6	33,4	57,5	61,7	65,4
50	32,4	34,8	37,7	63,2	67,5	71,4
55	36,4	39,0	42,1	68,8	73,3	77,4
60	40,5	43,2	46,5	74,4	79,1	83,3
65	44,6	47,4	50,9	80,0	84,8	89,2