Черемшанов В.Г. 4136

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ
СОЮЗА ССР

НАДЕЖНОСТЬ В ТЕХНИКЕ

РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ НЕВОССТАНАВЛИВАЕМЫХ ОБЪЕКТОВ (БЕЗ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ)

ГОСТ 19460—74

Издание официальное

Цена 5 коп.

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СТАНДАРТОВ
СОВЕТА МИНИСТРОВ СССР
Москва

1.3. Вероятность безотказной работы объекта в течение наработки t находят по формуле

$$P(t)=1-F(t)=\int_{t}^{\infty} f(t)dt. \qquad (2)$$

1.4. Среднюю наработку объекта до отказа (математическое ожидание наработки до отказа) находят по формуле

$$t_{ср}=\int_{0}^{\infty} P(t)dt \qquad (3)$$

или по формуле

$$t_{ср}=\int_{0}^{\infty} t\cdot f(t)dt. \qquad (4)$$

1.5. Показателями безотказности объекта являются величины $P(t)$ и $t_{ср}$.

2. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ ОТДЕЛЬНОГО ОБЪЕКТА

2.1. Случай экспоненциального распределения

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\lambda \exp(-\lambda t), \quad t\geqslant 0, \qquad (5)$$

где λ — параметр распределения, $\lambda>0$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=\exp(-\lambda t). \qquad (6)$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=\lambda t$ приведены в табл. 1.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=\lambda^{-1}. \qquad (7)$$

Пример расчета вероятности безотказной работы и средней наработки объекта до отказа приведен в приложении 3 (пример 1).

2.2. Случай экспоненциального распределения со сдвигом

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\lambda \exp[-\lambda(t-c)], \quad t\geqslant c, \qquad (8)$$

где λ и c — параметры распределения, $\lambda>0$, $c>0$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=\begin{cases} 1, & t\leqslant c \\ \exp[-\lambda(t-c)], & t>c. \end{cases} \qquad (9)$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=\lambda(t-c)$ приведены в табл. 1.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=c+\lambda^{-1}. \qquad (10)$$

Таблица 1

Значения функции

$\exp(-x)$

x	0	2	4	6	8
0,0	1	0,980	0,961	0,942	0,923
0,1	0,905	887	869	852	835
0,2	819	803	787	771	756
0,3	741	726	719	698	684
0,4	670	657	644	631	619
0,5	0,607	0,595	0,583	0,571	0,560
0,6	549	538	527	517	507
0,7	500	487	477	468	458
0,8	449	440	432	423	415
0,9	407	398	391	383	375
1,0	0,368	0,361	0,353	0,346	0,340
1,1	333	326	320	314	307
1,2	301	295	289	284	278
1,3	273	267	262	257	252
1,4	247	242	237	232	228
1,5	0,223	0,219	0,214	0,210	0,206
1,6	202	198	194	190	186
1,7	183	179	176	172	169
1,8	165	162	159	156	153
1,9	150	147	144	141	138
2,0	0,135	0,133	0,130	0,128	0,125
2,1	123	120	118	115	113
2,2	111	109	107	104	102
2,3	100	098	096	094	093
2,4	091	089	087	085	084

2.3. Случай распределения Вейбулла

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\frac{b}{a}\left(\frac{t}{a}\right)^{b-1}\exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^{b}\right],\quad t\geqslant 0, \tag{11}$$

где a и b — параметры распределения, $a>0$, $b>0$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=\exp\left[-\left(\frac{t}{a}\right)^{b}\right]. \tag{12}$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=\frac{t}{a}$ приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения функции

$\exp(-x^b)$

x	b = 1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
0,1	0,939	0,961	0,975	0,984	0,990
0,2	865	900	927	946	961
0,3	790	831	864	892	914
0,4	717	758	794	825	852
0,5	647	685	719	750	779
0,6	0,582	0,613	0,643	0,671	0,698
0,7	521	545	568	591	613
0,8	465	481	497	512	527
0,9	414	422	430	437	445
1,0	368	368	368	368	368
1,1	0,326	0,319	0,312	0,305	0,298
1,2	288	275	262	250	237
1,3	254	236	218	201	185
1,4	224	202	180	160	141
1,5	197	171	148	126	105
1,6	0,172	0,145	0,120	0,097	0,077
1,7	151	122	097	074	056
1,8	132	103	077	056	039
1,9	115	086	061	042	027
2,0	101	071	048	031	018
2,1	0,088	0,059	0,038	0,022	0,012
2,2	076	049	029	016	008
2,3	066	040	023	011	005
2,4	057	033	017	008	003
2,5	050	027	013	006	002

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=a\cdot\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right), \qquad (13)$$

для применения которой приведена табл. 5.

Пример расчета вероятности безотказной работы и средней наработки объекта до отказа приведен в приложении 3 (пример 2).

2.4. Случай распределения Вейбулла со сдвигом

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\frac{b}{a}\left(\frac{t-c}{a}\right)^{b-1}\exp\left[-\left(\frac{t-c}{a}\right)^{b}\right],\ t\geqslant c, \qquad (14)$$

где a; b и c — параметры распределения $a>0$, $b>0$, $c>0$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=\begin{cases} 1, & t\leqslant c \\ \exp\left[-\left(\frac{t-c}{a}\right)^b\right], & t>c. \end{cases} \quad (15)$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=\frac{t-c}{a}$ приведены в табл. 2.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=c+a\cdot\Gamma\left(1+\frac{1}{b}\right), \quad (16)$$

для применения которой приведена табл. 5.

2.5. Случай гамма-распределения

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\frac{1}{(m-1)!}\lambda^m t^{m-1}\exp(-\lambda t),\ t\geqslant 0, \quad (17)$$

где λ и m — параметры распределения, $\lambda>0$, $m=2,3\ldots$

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=P_m(2\lambda t). \quad (18)$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=2\lambda t$ приведены в табл. 3.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=m\cdot\lambda^{-1}. \quad (19)$$

Пример расчета вероятности безотказной работы и средней наработки объекта до отказа приведен в приложении 3 (пример 3).

2.6. Случай гамма-распределения со сдвигом

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\frac{1}{(m-1)!}\lambda^m(t-c)^{m-1}\exp[-\lambda(t-c)],\ t\geqslant c, \quad (20)$$

где λ, m и c — параметры распределения, $\lambda>0$, $m=2,3,\ldots$, $c>0$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=\begin{cases} 1, & t\leqslant c \\ P_m[2\lambda(t-c)], & t>c. \end{cases} \quad (21)$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=2\lambda(t-c)$ приведены в табл. 3.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=c+m\cdot\lambda^{-1}. \quad (22)$$

2.7. Случай нормального распределения

Таблица 3

Значения функции

$P_m(x)$

x	m							
	2	3	4	5	6	7	8	9
0,4	0,982	0,999	1	—	—	—	—	—
0,8	938	992	0,999	—	—	—	—	—
1,2	878	977	997	1	—	—	—	—
1,6	809	953	991	0,999	1	—	—	—
2,0	736	920	981	996	0,999	—	—	—
2,4	0,663	0,879	0,966	0,992	0,998	1	—	—
2,8	592	834	946	986	997	0,999	—	—
3,2	525	783	921	976	994	999	1	—
3,6	463	731	891	964	990	997	0,999	—
4,0	406	677	857	947	983	995	999	—
4,4	0,355	0,623	0,819	0,928	0,975	0,993	0,998	—
4,8	308	570	779	904	964	988	997	0,999
5,2	267	518	736	877	951	983	995	998
5,6	231	469	692	848	935	976	992	997
6,0	199	423	647	815	916	966	988	996
6,4	0,171	0,380	0,603	0,781	0,895	0,955	0,983	0,994
6,8	147	340	558	744	871	942	977	992
7,2	126	303	515	706	844	927	969	988
7,6	107	269	473	668	816	909	960	984
8,0	092	238	433	629	785	889	949	979
8,4	0,078	0,210	0,395	0,590	0,753	0,867	0,936	0,972
8,8	066	185	359	551	720	844	921	964
9,2	056	163	326	513	686	818	905	955
9,6	048	143	294	476	651	791	887	944
10	040	125	265	440	616	762	867	932
12	0,017	0,062	0,151	0,285	0,446	0,606	0,744	0,847
14	007	030	082	173	301	450	594	729
16	003	014	042	100	191	313	453	593
18	001	006	021	055	116	207	324	455
20	—	003	010	029	067	130	220	333
24	—	—	0,002	0,008	0,020	0,046	0,089	0,155
28	—	—	—	002	006	014	032	062
32	—	—	—	—	001	002	010	022

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(t-a)^2}{2\sigma^2}\right],\quad t\geqslant 0, \tag{23}$$

где a и σ — параметры распределения, $a>0$, $\sigma>0$, ${}_{\sigma}<0{,}25$.

Последнее условие является необходимым, если для положительной случайной величины вместо усеченного нормального распределения приближенно использовать нормальное распределение. Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=F_0\left(\frac{a-t}{\sigma}\right). \tag{24}$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=\frac{a-t}{\sigma}$ приведены в табл. 4.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{\text{ср}}=a. \tag{25}$$

Формулы (24) и (25) тем точнее, чем меньше $\frac{\sigma}{a}$.

Пример расчета вероятности безотказной работы и средней наработки объекта до отказа приведен в приложении 3 (пример 4).

2.8. Случай логарифмически нормального распределения

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=\frac{1}{t\sigma\sqrt{2\pi}}\exp\left[-\frac{(\ln t-a)^2}{2\sigma^2}\right],\ t\geqslant 0, \tag{26}$$

где a и σ — параметры распределения, $a>0$, $\sigma>0$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=F_0\left(\frac{a-\ln t}{\sigma}\right). \tag{27}$$

Значения вероятности безотказной работы в зависимости от $x=\frac{a-\ln t}{\sigma}$ приведены в табл. 4.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{\text{ср}}=\exp\left(a+\frac{\sigma^2}{2}\right), \tag{28}$$

для применения которой приведена табл. 6.

Пример расчета вероятности безотказной работы и средней наработки объекта до отказа приведен в приложении 3 (пример 5).

2.9. Случай смеси двух экспоненциальных распределений

Плотность распределения наработки объекта до отказа имеет вид

$$f(t)=q_1\lambda_1\exp(-\lambda_1 t)+q_2\lambda_2\exp(-\lambda_2 t),\ t\geqslant 0, \tag{29}$$

где λ_1, λ_2, q_1 и q_2 — параметры распределения, $\lambda_1>0$, $\lambda_2>0$, $q_1>0$, $q_2>0$, $q_1+q_2=1$.

Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=q_1\exp(-\lambda_1 t)+q_2\exp(-\lambda_2 t). \tag{30}$$

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{\text{ср}}=q_1\lambda_1^{-1}+q_2\lambda_2^{-1}. \tag{31}$$

Таблица 4

Значения функции

$F_0\ (x)$

$F_0\ (-x) = 1 - F_0\ (x)$

x	0	2	4	6	8
0,0	0,500	0,508	0,516	0,524	0,532
0,1	540	548	556	564	571
0,2	579	587	595	603	610
0,3	618	626	633	641	648
0,4	655	663	670	677	684
0,5	0,692	0,698	0,705	0,712	0,719
0,6	726	732	739	745	752
0,7	758	764	770	776	782
0,8	788	794	800	805	811
0,9	816	821	826	832	836
1,0	0,841	0,846	0,851	0,855	0,860
1,1	864	869	873	877	881
1,2	885	889	892	896	900
1,3	903	907	910	913	916
1,4	919	922	925	928	931
1,5	0,933	0,936	0,938	0,941	0,943
1,6	945	947	950	952	954
1,7	955	957	959	961	962
1,8	964	966	967	969	970
1,9	971	973	974	975	976
2,0	0,977	0,978	0,979	0,980	0,981
2,1	982	983	984	985	985
2,2	986	987	987	988	989
2,3	989	990	990	991	991
2,4	992	992	993	993	993

Таблица 5

Значения функции

$$\Gamma\left(1 + \frac{1}{x}\right)$$

Значения величины x	Значения функции $\Gamma\left(1+\frac{1}{x}\right)$	Значения величины x	Значения функции $\Gamma\left(1+\frac{1}{x}\right)$	Значения величины x	Значения функции $\Gamma\left(1+\frac{1}{x}\right)$
1,20	0,941	1,45	0,907	1,70	0,892
1,25	0,931	1,50	0,903	1,75	0,890
1,30	0,923	1,55	0,899	1,80	0,889
1,35	0,917	1,60	0,896	1,90	0,887
1,40	0,911	1,65	0,894	2,00	0,886

Таблица 6

Значения функции
exp (x)

Значения величины x	Значения функции exp (x)	Значения величины x	Значения функции exp (x)	Значения величины x	Значения функции exp (x)
0,5	1,65	3,1	22,2	4,1	60,3
1,0	2,72	3,2	24,5	4,2	66,7
1,2	3,32	3,3	27,1	4,3	73,7
1,5	4,48	3,4	30,0	4,4	81,4
1,8	6,05	3,5	33,1	4,5	90,0
2,0	7,39	3,6	36,6	4,6	99,5
2,2	9,02	3,7	40,4	4,7	110
2,5	12,18	3,8	44,7	4,8	122
2,8	16,44	3,9	49,4	4,9	134
3,0	20,09	4,0	54,6	5,0	148

2.10. Случай распределения Бернштейна (см. приложение 1)
Вероятность безотказной работы объекта находят по формуле

$$P(t)=F_0\left(\frac{c-ta_1-a_2}{\sqrt{t^2\sigma_1^2+\sigma_2^2}}\right), \tag{32}$$

где c, a_1, a_2, σ_1, σ_2— параметры распределения, $c>0$, $a_1>0$, $a_2>0$, $\sigma_1>0$, $\sigma_2>0$, $c>a_2$, $4\ \sigma_1<a_1$, $4\ \sigma_2<a_2$.

Значения вероятности безотказной работы для $x=\frac{c-ta_1-a_2}{\sqrt{t^3\sigma_1^3+\sigma_2^2}}$.

приведены в табл. 4.

Среднюю наработку объекта до отказа находят по формуле

$$t_{\text{ср}}\approx\frac{c-a_2}{a_1}\left[1+\left(\frac{\sigma_1}{a_1}\right)^2\right]. \tag{33}$$

Формула (33) тем точнее, чем меньше $\frac{\sigma_1}{a_1}$.

Примеры расчета вероятности безотказной работы и средней наработки объекта до отказа приведены в приложении 3 (примеры 6 и 9).

3. РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

3.1. Под сложным объектом понимают объект, состоящий из нескольких одновременно функционирующих отдельных объектов. Отказ каждого объекта приводит к отказу сложного объекта. Отказы отдельных объектов независимы.

3.2. Если сложный объект состоит из n отдельных объектов с показателями безотказности $P_1(t)$, $P_2(t)$, ..., $P_n(t)$, то вероятность безотказной работы находят по формуле

$$P(t)=P_1(t)\cdot P_2(t)\ldots P_n(t). \tag{34}$$

Среднюю наработку сложного объекта до отказа находят по формулам (34) и (3).

Правило определения интервала численного интегрирования приведено в приложении 2.

3.3. Если наработка до отказа каждого отдельного объекта подчиняется экспоненциальному распределению с параметром λ_k, $k=1, 2, \ldots, n$, то вероятность безотказной работы сложного объекта находят по формуле

$$P(t)=\exp[-t\sum_{k=1}^{n}\lambda_k]. \tag{35}$$

Значения вероятности безотказной работы для $x=t\sum\limits_{k=1}^{n}\lambda_k$ приведены в табл. 1.

Среднюю наработку сложного объекта до отказа находят по формуле

$$t_{\text{ср}}=(\sum_{k=1}^{n}\lambda_k)^{-1}. \tag{36}$$

3.4. Если наработка до отказа каждого отдельного объекта подчиняется распределению Вейбулла с параметрами b и a_k, $k=1, 2, \ldots, n$, то вероятность безотказной работы сложного объекта находят по формуле

$$P(t)=\exp(-t^b\sum_{k=1}^{n}a_k^{-b}). \tag{37}$$

Значения вероятности безотказной работы для $x=t(\sum\limits_{k=1}^{n}a_k^{-b})^{\frac{1}{b}}$ приведены в табл. 2.

Среднюю наработку сложного объекта до отказа находят по формуле

$$t_{\text{ср}}=\Gamma(1+\frac{1}{b})[\sum_{k=1}^{n}a_k^{-b}]^{-\frac{1}{b}}, \tag{38}$$

для применения которой приведена табл. 5.

При $a_k=a$, $k=1,2,\ldots, n$

$$P(t)=\exp[-n(\frac{t}{a})^b], \tag{39}$$

$$t_{\text{ср}}=\frac{a}{\sqrt[b]{n}}\Gamma(1+\frac{1}{b}). \tag{40}$$

3.5. Если наработка до отказа одного отдельного объекта имеет экспоненциальное распределение с параметром λ, а наработка до отказа второго отдельного объекта имеет нормальное распределение с параметрами a и σ, $4\sigma < a$, то вероятность безотказной работы сложного объекта находят по формуле

$$P(t)=\exp(-\lambda t)\cdot F_0\left(\frac{a-t}{\sigma}\right). \qquad (41)$$

Значения вероятностей безотказной работы для $x=\lambda t$ и $x=\frac{a-t}{\sigma}$ приведены соответственно в табл. 1 и 4. Среднюю наработку сложного объекта до отказа находят по формуле

$$t_{ср}=\lambda^{-1}\left[1-\exp\left(-\lambda a+\frac{\lambda^2\sigma^2}{2}\right)\right], \qquad (42)$$

для применения которой приведена табл. 1.

Формулы (41) и (42) тем точнее, чем меньше $\frac{\sigma}{a}$.

Примеры расчета вероятности безотказной работы и средней наработки сложного объекта до отказа приведены в приложении 3 (примеры 7 и 8).

ПРИЛОЖЕНИЕ 1 к ГОСТ 19460—74
Справочное

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ БЕРНШТЕЙНА

Условия, приводящие к распределению Бернштейна

Пусть рабочий параметр объекта (элемента) может быть представлен в виде

$$\eta(t) = vt + u,$$

где v и u — случайные величины. Величина u — начальное значение рабочего параметра (например, износа), величина v — скорость изменения параметра (износа).

Если случайные величины подчиняются нормальному распределению с параметрами a_1, σ_1, a_2, σ_2 соответственно, то $\eta(t)$ имеет нормальное распределение с математическим ожиданием

$$M\eta(t) = a_1 t + a_2$$

и дисперсией

$$D\eta(t) = \sigma_1^2\, t + \sigma_2^2.$$

Если c — предельно допустимый уровень изменения рабочего параметра (износа), то наработка до отказа подчиняется распределению

$$P\{\xi > t\} = P\{vt + u < c\}$$

при

$$a_1 > 0,\ c > a_2 > 0.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ 2 к ГОСТ 19460—74
Справочное

ПРАВИЛО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ИНТЕРВАЛА ЧИСЛЕННОГО ИНТЕГРИРОВАНИЯ

В ряде случаев интеграл от функции (34) настоящего стандарта не выражается через элементарные или табулированные функции и для нахождения средней наработки до отказа требуется численное интегрирование. Ниже приводится правило определения интервала интегрирования.

Интервал интегрирования (O, T) монотонно убывающей функции в общем случае рекомендуется выбирать из условия

$$R=\int_T^\infty P(t)dt<\delta\cdot t_{\text{ср}},$$

где δ — допустимая относительная ошибка.

Для экспоненциального распределения

$$R=\lambda^{-1}\exp(-\lambda T)$$

и на уровне вероятности безотказной работы $P(T)=0{,}05$ получаем относительную ошибку $\delta=0{,}05$.

Для распределения с интенсивностью отказов $\lambda(t)$

$$R=\int_T^\infty \exp[-\int_0^t \lambda(x)dx]dt.$$

при $t>T$

$$\int_0^t \lambda(x)dx=\int_0^T\lambda(x)dx+\int_T^t\lambda(x)dx$$

$$R=\exp[-\int_0^T\lambda(x)dx]\cdot\int_T^\infty \exp[-\int_T^t\lambda(x)dx]dt.$$

Поскольку при возрастающей интенсивности отказов

$$\int_T^t\lambda(x)dx>\lambda(T)(t-T),$$

то

$$R<P(T)\int_T^\infty \exp[-\lambda(T)(t-T)dt=\frac{P(t)}{\lambda(T)}$$

или

$$R<\frac{P(T)}{\lambda(T)\cdot t_{\text{ср}}}\,t_{\text{ср}}=\delta\cdot t_{\text{ср}}.$$

В данном случае справедливо неравенство

$$t_{\text{ср}}>t_{\text{ср.э}},\ t_{\text{ср.э}}=\left(\sum_{k=1}^{n}t_{\text{ср.к}}^{-1}\right)^{-1},\qquad \delta<\frac{P(T)}{\lambda(T)t_{\text{ср.э}}},$$

где $t_{\text{ср·к}}$ — средняя наработка до отказа k-го отдельного объекта.

Процедура определения границы интервала интегрирования T состоит в следующем. Фиксируем допустимое значение относительной ошибки δ, например, $\delta=0{,}05$. Задаемся рядом значений величины T и находим такое значение границы интервала интегрирования T, при котором $P(T)/\lambda(T)\cdot t_{\text{со·э}} \leqslant 0{,}05$. Значения интенсивности отказов $\lambda(T)$ вычисляют по формуле

$$\lambda(T) = \sum_{k=1}^{n} \lambda_k(T),$$

где $\lambda_k(t)$ — интенсивность отказов k-го отдельного объекта.

При этом ошибка в вычислении средней наработки объекта до отказа $t_{\text{ср}}$ за счет интегрирования на интервале (O, T) не превосходит 0,05.

Для распределения Бернштейна

$$T \leqslant \frac{c - a_2 + 3\sigma_2}{a_1 - 3\sigma_1}.$$

Вычисление средней наработки объекта до отказа интегрирования монотонно убывающей непрерывной функции в интервале (O, T) рекомендуется выполнять численным методом, например, методом трапеций.

ПРИЛОЖЕНИЕ 3 к ГОСТ 19460—74
Справочное

ПРИМЕРЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРАВИЛ СТАНДАРТА

1. Наработка объекта до отказа подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\lambda = 10^{-3}$ ч$^{-1}$. При $t = 200$ ч по формулам (6), (7) и табл. 1 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}82; \; t_{ср} = 1000 \text{ ч}.$$

2. Наработки до отказа подчиняются распределению Вейбулла с параметрами $a = 1000$ ч, $b = 2$. При $t = 200$ ч по формулам (12), (13) и табл. 2 и 5 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}96; \quad t_{ср} = 1000 \cdot 0{,}903 \approx 900 \text{ ч}.$$

3. Наработка объекта до отказа подчиняется гамма-распределению с параметрами $\lambda = 10^{-3}$ ч$^{-1}$; $m = 2$. При $t = 200$ ч по формулам (18), (19) и табл. 3 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}985; \quad t_{ср} = 2000 \text{ ч}.$$

4. Наработка объекта до отказа подчиняется нормальному распределению с параметрами $a = 1000$ ч, $\sigma = 310$ ч. При $t = 200$ ч по формулам (24), (25) и табл. 4 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}995; \quad t_{ср} = 1000 \text{ ч}.$$

5. Наработка объекта до отказа подчиняется логарифмически нормальному распределению с параметрами $a = 5$, $\sigma = 0{,}3$. При $t = 200$ ч по формулам (27), (28) и табл. 4 и 6 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}16; \quad t_{ср} \approx 150 \text{ ч}.$$

6. Наработка объекта до отказа подчиняется дисперсионному распределению Бернштейна с параметрами $a_1 = 0{,}3$ ч$^{-1}$; $\sigma_1 = 0{,}08$ ч$^{-1}$, $c = 120$; $a_2 = 20$; $\sigma_2 = 6$. При $t = 200$ ч по формулам (32), (33) и табл. 4 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}98; \quad t_{ср} = 360 \text{ ч}.$$

7. Наработка до отказа одного из объектов, составляющих сложный объект, подчиняется экспоненциальному распределению с параметром $\lambda = 10^{-3}$ ч$^{-1}$, наработка до отказа второго объекта подчиняется нормальному распределению с параметрами $a = 1000$ ч, $\sigma = 310$ ч. При $t = 200$ ч по формулам (41), (42) и табл. 1 и 4 настоящего стандарта получаем

$$P(200) = 0{,}815; \quad t_{ср} \approx 600 \text{ ч}.$$

8. Найти границу интервала интегрирования (T) и среднюю наработку сложного объекта до отказа численным методом в условиях, указанных в п. 7, при допустимой относительной ошибке $\delta = 5\%$.

По формулам приложения 2 находим

$$t_{ср.э} = \frac{1000}{2} = 500 \text{ ч}.$$

Находим такое (наименьшее) значение границы интервала интегрирования T, при котором

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (СИ)

Величина	Единица		
	Наименование	Обозначение	
		русское	международное
ОСНОВНЫЕ ЕДИНИЦЫ			
ДЛИНА	метр	м	m
МАССА	килограмм	кг	kg
ВРЕМЯ	секунда	с	s
СИЛА ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТОКА	ампер	А	A
ТЕРМОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕМПЕРАТУРА КЕЛЬВИНА	кельвин	К	K
СИЛА СВЕТА	кандела	кд	cd
ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ЕДИНИЦЫ			
Плоский угол	радиан	рад	rad
Телесный угол	стерадиан	ср	sr
ПРОИЗВОДНЫЕ ЕДИНИЦЫ			
Площадь	квадратный метр	$м^2$	m^2
Объем, вместимость	кубический метр	$м^3$	m^3
Плотность	килограмм на кубический метр	$кг/м^3$	kg/m^3
Скорость	метр в секунду	м/с	m/s
Угловая скорость	радиан в секунду	рад/с	rad/s
Сила; сила тяжести (вес)	ньютон	Н	N
Давление; механическое напряжение	паскаль	Па	Pa
Работа; энергия; количество теплоты	джоуль	Дж	J
Мощность; тепловой поток	ватт	Вт	W
Количество электричества; электрический заряд	кулон	Кл	C
Электрическое напряжение, электрический потенциал, разность электрических потенциалов, электродвижущая сила	вольт	В	V
Электрическое сопротивление	ом	Ом	Ω
Электрическая проводимость	сименс	См	S
Электрическая емкость	фарада	Ф	F
Магнитный поток	вебер	Вб	Wb
Индуктивность, взаимная индуктивность	генри	Г	H
Удельная теплоемкость	джоуль на килограмм-кельвин	Дж/(кг·К)	J/(kg·K)
Теплопроводность	ватт на метр-кельвин	Вт/(м·К)	W/(m·K)
Световой поток	люмен	лм	lm
Яркость	кандела на квадратный метр	$кд/м^2$	cd/m^2
Освещенность	люкс	лк	lx

МНОЖИТЕЛИ И ПРИСТАВКИ ДЛЯ ОБРАЗОВАНИЯ ДЕСЯТИЧНЫХ КРАТНЫХ И ДОЛЬНЫХ ЕДИНИЦ И ИХ НАИМЕНОВАНИЙ

Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение		Множитель, на который умножается единица	Приставка	Обозначение	
		русское	международное			русское	международное
10^{12}	тера	Т	T	10^{-2}	(санти)	с	c
10^{9}	гига	Г	G	10^{-3}	милли	м	m
10^{6}	мега	М	M	10^{-6}	микро	мк	μ
10^{3}	кило	к	k	10^{-9}	нано	н	n
10^{2}	(гекто)	г	h	10^{-12}	пико	п	p
10^{1}	(дека)	да	da	10^{-15}	фемто	ф	f
10^{-1}	(деци)	д	d	10^{-18}	атто	а	a

Примечание: В скобках указаны приставки, которые допускается применять только в наименованиях кратных и дольных единиц, уже получивших широкое распространение (например, гектар, декалитр, дециметр, сантиметр).