

Министерство образования и науки Республики Казахстан
ВОСТОЧНО-КАЗАХСТАНСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Д. СЕРИКБАЕВА

Школа машиностроения

Образовательная программа «Транспорт, транспортная техника и технологии»

М.С. Муздыбаев, С.В. Семёнов

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания для студентов
специальности 6В07107 «Транспорт, транспортная техника и технологии»

Өскемен
Усть-Каменогорск
2021

УДК 621.879:629.113-192:519.863

ББК 34.41

М89

Муздыбаев М.С., Семёнов С.В.

М89 Математическая теория надежности технических систем: Методические указания для студентов специальности 6В07107 «Транспорт, транспортная техника и технологии» / ВКТУ им. Д. Серикбаева. - Усть-Каменогорск, 2021. - 35 с.: ил.

В методических указаниях к практическим занятиям приведены методики и примеры оценки ресурсных показателей деталей транспортной техники по результатам экспериментальных исследований, а также методы математического моделирования показателей надежности машин на основе полученных эмпирических данных.

Методические указания к практическим занятиям по дисциплине «Математическая теория надежности технических систем» предназначены для студентов специальности 6В07107 «Транспорт, транспортная техника и технологии» заочной формы обучения.

ББК 34.41

Утверждено методическим Советом школы машиностроения и транспорта ВКТУ (протокол № от 2020 г.)

Одобрено в качестве учебного пособия Учебно-методическим объединением по образовательной программе 6В07107 «Транспорт, транспортная техника и технологии».

М $\frac{2702000000}{00(05) - 04}$

© Восточно-Казахстанский технический университет, 2021

© Муздыбаев М.С., Семёнов С.В. 2021

ПРЕДИСЛОВИЕ

Обеспечение высокой надежности машин в настоящее время является неотъемлемым требованием обеспечения качества выпускаемой продукции, что отражено в международных стандартах серии ИСО 9000/МЭК 300 и ИСО ТС 16949. Реализация указанных требований дала новый толчок в развитии существующей системы создания машин и механизмов, а также их использования по назначению. Данная проблема сложна и многогранна, а ее решение требует комплексного подхода.

ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ,

$P(t)$	вероятность безотказной работы
$F(t)$	функция распределения вероятностей случайной величины T
$f(t)$	плотность распределения вероятностей случайной величины T
$\bar{t}_{эj}$	средняя наработка i -го элемента до j -го отказа
σ_{ij}	среднеквадратическое отклонение распределения наработки i -го элемента до j -го отказа
v	коэффициент вариации наработки элемента до отказа
ρ	коэффициент изменения ресурса элемента
η	коэффициент изменения относительного рассеивания ресурса элемента
k_ρ	коэффициент пропорциональности изменения стоимости элемента и его ресурса
k_η	коэффициент пропорциональности изменения стоимости элемента и рассеивания его ресурса
μ	коэффициент изменения стоимости элемента
$\Omega(t)$	ведущая функция потока отказов
$\omega(t)$	параметр потока отказов
n	уровень надежности системы
T_{opt}	оптимальный ресурс системы
$T_{до}$	средняя наработка системы до первого отказа
$T_{но}$	средняя наработка системы на отказ
$C_э$	стоимость элемента системы
C_u	стоимость системы
β_p	коэффициент использования ресурса элемента системы
β_δ	коэффициент стоимостного использования группы элементов системы
$C_{зч}$	стоимость запасных частей при устранении отказа системы
C_{mat}	стоимость расхода материалов при устранении отказа системы
$C_{труд}$	стоимость трудовых затрат при устранении отказа системы
$C_{прост}$	стоимость компенсации простоя системы в ремонте
$C_{отк}$	стоимость устранения отказа системы
τ	время (трудоемкость) устранения отказа
δ	стоимость единицы времени (трудоемкости) устранения отказа
у.е.	условная единица денежного эквивалента стоимости
$C_{ин}(t)$	интервальные затраты на поддержание надежности за наработку t
$C_{нн}(t)$	затраты на поддержание надежности за наработку t
$C_{уд}(t)$	суммарные удельные средние затраты на приобретение системы и на поддержание ее надежности за наработку t
$C_{уд min}$	минимальные суммарные удельные средние затраты на приобретение системы и на поддержание ее надежности за оптимальный ресурс T_{opt}
K_T	коэффициент готовности системы

1 ОБРАБОТКА СТАТИСТИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В период эксплуатационных испытаний на надежность подконтрольной группы машин велись наблюдения за безотказностью детали по плану $[N,U,N]$. В результате были зафиксированы моменты ее отказов (таблица 1).

Необходимо определить вид закона распределения наработки детали до отказа и произвести проверку его согласия.

Таблица 1 – Нарботки детали до отказа, тыс. мото-ч

i	0	10	20	30	40	50	60
1	6,68	4,88	0,89	1,11	1,61	9,57	2,68
2	4,46	9,19	1,43	3,87	7,08	6,56	2,06
3	5,11	4,77	5,07	2,60	1,63	5,35	6,25
4	3,63	2,33	1,65	4,40	3,11	3,28	0,83
5	5,80	6,72	4,01	2,74	1,57	3,78	7,44
6	4,52	2,47	6,13	4,46	5,75	2,94	7,17
7	6,00	6,41	5,91	5,53	1,85	8,24	5,93
8	3,17	7,61	4,18	5,19	4,18	3,45	3,23
9	5,17	5,25	5,64	4,06	2,99	2,34	5,54
10	7,17	5,54	2,09	1,52	12,18	2,71	4,81

Решение.

Оценка параметров статистической выборки.

Упорядочим массив исходных данных по возрастанию. Результаты сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Отказы детали в функции наработки, тыс. мото-ч

i	0	10	20	30	40	50	60
1	0,83	2,06	2,99	4,06	5,07	5,75	6,72
2	0,89	2,09	3,11	4,18	5,11	5,80	7,08
3	1,11	2,33	3,17	4,18	5,17	5,91	7,17
4	1,43	2,34	3,23	4,40	5,19	5,93	7,17
5	1,52	2,47	3,28	4,46	5,25	6,00	7,44
6	1,57	2,60	3,45	4,46	5,35	6,13	7,61
7	1,61	2,68	3,63	4,52	5,53	6,25	8,24
8	1,63	2,71	3,78	4,77	5,54	6,41	9,19
9	1,65	2,74	3,87	4,81	5,54	6,56	9,57
10	1,85	2,94	4,01	4,88	5,64	6,68	12,18

Произведем разбивку исходных данных на интервалы и оценку параметров статистической выборки.

Количество частичных равновеликих непересекающихся интервалов определим по эмпирической формуле Г.Купцовой

$$r = 1,15 \cdot [0,42(N - 1)^2]^{0,27} = 1,15 \cdot [0,42(70 - 1)^2]^{0,27} = 9.$$

Интервал значений наработки детали до отказа от 0,83 тыс. мото-ч до 12,18 тыс. мото-ч разобьем на $r=9$ частичных интервалов протяженностью

$$\Delta t = \frac{t_{\max} - t_{\min}}{r} = \frac{12,18 - 0,83}{9} = 1,26(1) \approx 1,262 \text{ тыс. мото-ч,}$$

и определим частоту попадания в каждый частичный интервал исходных данных.

Произведем оценку среднего значения и среднеквадратического отклонения значений выборки, а также плотность и вероятность случайной величины по эмпирическим данным. Результаты сведены в таблицу 3.

Таблица 3 – Результаты обработки статистических данных

j	$t_{j \min}$	$t_{j \max}$	t_{oj}	m_j	$m_j t_{oj}$	$m_i(t_{oj} - \bar{t})^2$	$f_{\text{э}}(t_{oj})$	$F_{\text{э}}(t_{oj})$
1	0,830	2,092	1,461	12	17,532	108,776935	0,135839	0,171429
2	2,092	3,354	2,723	13	35,399	39,756620	0,147159	0,357143
3	3,354	4,616	3,985	12	47,820	2,843357	0,135839	0,528571
4	4,616	5,878	5,247	15	78,705	9,014690	0,169799	0,742857
5	5,878	7,140	6,509	10	65,090	41,503003	0,113199	0,885714
6	7,140	8,402	7,771	5	38,855	54,424546	0,056600	0,957143
7	8,402	9,664	9,033	2	18,066	41,609612	0,022640	0,985714
8	9,664	10,926	10,295	0	0,000	0,000000	0,000000	0,985714
9	10,926	12,188	11,557	1	11,557	50,200464	0,011320	1,000000
Σ				70	313,024	348,129226		

Определим среднее значение выборки и среднеквадратическое отклонение

$$\bar{t} = \frac{\sum_{j=1}^r t_{oj} m_j}{N} = \frac{313,024}{70} = 4,471771 \text{ тыс. мото-ч,}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^r m_j (t_{oj} - \bar{t})^2}{N - 1}} = \sqrt{\frac{348,129226}{70 - 1}} = 2,246186 \text{ тыс. мото-ч.}$$

Плотность и вероятность эмпирического распределения наработок детали до отказа определим по формулам

$$f_{\vartheta}(t_{oj}) = \frac{m_j}{N\Delta t}, \quad F_{\vartheta}(t_{oj}) = \frac{\sum_{k=1}^j m_k}{N}.$$

Построим гистограмму плотности распределения наработки детали до отказа (рисунок 1).

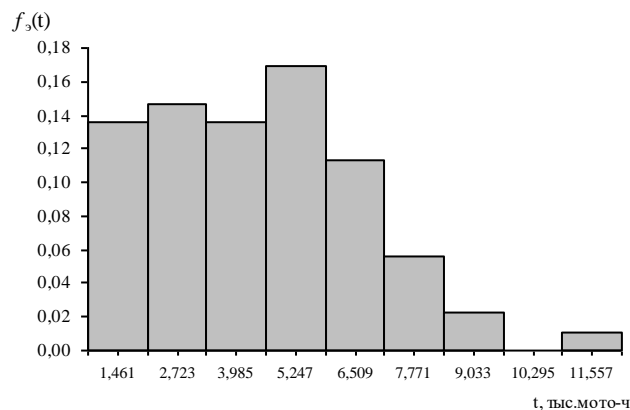


Рисунок 1 - Плотность распределения наработок до отказа

Аппроксимация эмпирического распределения теоретическим законом.
По виду гистограммы, а также по значению коэффициента вариации

$$v = \frac{\sigma}{\bar{t}} = \frac{2,246186}{4,471771} = 0,502303$$

с учетом условия

$$\begin{cases} v \leq 0,33 & \Rightarrow \text{нормальный, лог - нормальный} \\ v > 0,33 & \Rightarrow \text{Вейбулла} \\ v = 1 & \Rightarrow \text{экспоненциальный} \end{cases}$$

принимаем нулевую гипотезу о виде распределения по закону Вейбулла.

Примечание:

для нормального закона параметры \bar{t} и σ принимаются без изменений;

для экспоненциального закона параметр λ принимается как \bar{t}^{-1} .

По значению коэффициента вариации v из таблицы В.1 (приложение В) с помощью метода линейной интерполяции находим оценку \hat{b} параметра формы b и значения коэффициентов K_b и G_b .

$$\begin{aligned}\hat{b} &= b_1 + \frac{b_2 - b_1}{v_2 - v_1}(v - v_1) = \\ &= 2,09 + \frac{2,10 - 2,09}{0,500289 - 0,502438}(0,502303 - 0,502438) \approx 2,090629;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}K_b &= K_{b_1} + \frac{K_{b_2} - K_{b_1}}{v_2 - v_1}(v - v_1) = \\ &= 0,885724 + \frac{0,885694 - 0,885724}{0,500289 - 0,502438}(0,502303 - 0,502438) \approx 0,885722;\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}G_b &= G_{b_1} + \frac{G_{b_2} - G_{b_1}}{v_2 - v_1}(v - v_1) = \\ &= 0,445022 + \frac{0,443102 - 0,445022}{0,500289 - 0,502438}(0,502303 - 0,502438) \approx 0,444901.\end{aligned}$$

Найдем оценку \hat{a} параметра масштаба a

$$\hat{a} = \frac{\sigma}{G_b} = \frac{2,246186}{0,444901} = 5,048733$$

и оценку \hat{c} параметра сдвига c

$$\hat{c} = \bar{t} - aK_b = 4,471771 - 5,048733 \cdot 0,885722 = -0,000004.$$

С учетом условия

$$c = \begin{cases} \hat{c}, & \text{если } \hat{c} \leq t_{\min} \\ t_{\min}, & \text{если } \hat{c} > t_{\min} \end{cases}$$

при $t_{\min} = 0,83$ принимаем $\hat{c} = -0,000004$.

Значения плотности распределения $f(t)$, вероятности безотказной работы $P(t)$, вероятности отказа $F(t)$, а также интенсивности отказов $\lambda(t)$ по закону Вейбулла сведены в таблицу 4.

Таблица 4 – Показатели распределения наработок детали до отказа

j	t_{oj}	$f(t_{oj})$	$F(t_{oj})$	$P(t_{oj})$	$\lambda(t_{oj})$
1	1,461	0,099370	0,072108	0,927892	0,107092
2	2,723	0,160399	0,240475	0,759525	0,211183
3	3,985	0,173860	0,456535	0,543465	0,319910
4	5,247	0,146091	0,661714	0,338286	0,431857
5	6,509	0,099715	0,817470	0,182530	0,546293
6	7,771	0,056422	0,914869	0,085131	0,662771
7	9,033	0,026740	0,965761	0,034239	0,780983
8	10,295	0,010674	0,988150	0,011850	0,900706
9	11,557	0,003600	0,996477	0,003523	1,021770

Графики показателей распределения наработок детали до отказа приведены на рисунке 2.

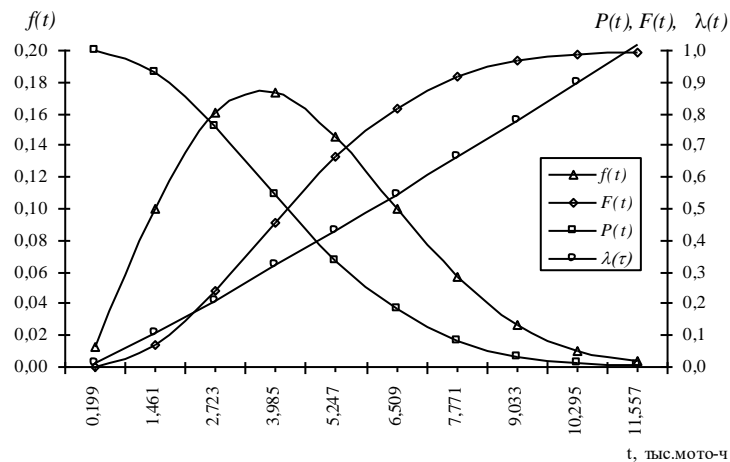


Рисунок 2 - Показатели распределения наработки детали до отказа (закон Вейбулла)

Проверка согласия теоретического закона с эмпирическим распределением

Произведем проверку согласия теоретического закона с эмпирическим распределением по критерию Мизеса Ω^2 . Для этого рассчитаем величину Ω^2 по формуле

$$\Omega^2 = -n - 2 \sum_{j=1}^N \left[\frac{2j-1}{2n} \ln(F(t_j)) + \left(1 - \frac{2j-1}{2n} \right) \ln(1 - F(t_j)) \right].$$

Результаты расчетов выражений под знаком суммы сведены в таблицу 5, а их сумму находим путем суммирования значений, находящихся в крайней справа колонке таблицы.

Таблица 5 – Последовательность вычисления критерия согласия Мизеса Ω^2

i	t_i	$\frac{2i-1}{2N}$	$F(t_i)$	$\ln[F(t_i)]$	$\frac{2i-1}{2N} \times \ln[F(t_i)]$	$1 - \frac{2i-1}{2N}$	$1 - F(t_i)$	$\ln[1 - F(t_i)]$	$[1 - \frac{2i-1}{2N}] \times \ln[1 - F(t_i)]$	$\frac{2i-1}{2N} \ln[F(t_i)] + [1 - \frac{2i-1}{2N}] \ln[1 - F(t_i)]$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0,83	0,007143	0,022686	-3,786003	-0,027043	0,992857	0,977314	-0,022947	-0,022783	-0,049826
2	0,89	0,021429	0,026203	-3,641882	-0,078040	0,978571	0,973797	-0,026552	-0,025983	-0,104024
3	1,11	0,035714	0,041262	-3,187824	-0,113851	0,964286	0,958738	-0,042137	-0,040632	-0,154483
4	1,43	0,050000	0,069058	-2,672811	-0,133641	0,950000	0,930942	-0,071558	-0,067980	-0,201621
5	1,52	0,064286	0,078080	-2,550015	-0,163930	0,935714	0,921920	-0,081297	-0,076071	-0,240001
6	1,57	0,078571	0,083312	-2,485157	-0,195262	0,921429	0,916688	-0,086989	-0,080154	-0,275416
7	1,61	0,092857	0,087609	-2,434874	-0,226095	0,907143	0,912391	-0,091686	-0,083173	-0,309268
8	1,63	0,107143	0,089793	-2,410244	-0,258240	0,892857	0,910207	-0,094084	-0,084003	-0,342244
9	1,65	0,121429	0,092002	-2,385944	-0,289722	0,878571	0,907998	-0,096513	-0,084794	-0,374515
10	1,85	0,135714	0,115376	-2,159556	-0,293083	0,864286	0,884624	-0,122593	-0,105955	-0,399038
11	2,06	0,150000	0,142293	-1,949866	-0,292480	0,850000	0,857707	-0,153493	-0,130469	-0,422949
12	2,09	0,164286	0,146324	-1,921934	-0,315746	0,835714	0,853676	-0,158203	-0,132213	-0,447959
13	2,33	0,178571	0,180097	-1,714258	-0,306117	0,821429	0,819903	-0,198570	-0,163111	-0,469228
14	2,34	0,192857	0,181560	-1,706167	-0,329047	0,807143	0,818440	-0,200356	-0,161716	-0,490762
15	2,47	0,207143	0,200950	-1,604697	-0,332402	0,792857	0,799050	-0,224332	-0,177863	-0,510265
16	2,60	0,221429	0,220986	-1,509658	-0,334281	0,778571	0,779014	-0,249726	-0,194429	-0,528711
17	2,68	0,235714	0,233607	-1,454117	-0,342756	0,764286	0,766393	-0,266060	-0,203346	-0,546102
18	2,71	0,250000	0,238393	-1,433837	-0,358459	0,750000	0,761607	-0,272324	-0,204243	-0,562702
19	2,74	0,264286	0,243206	-1,413845	-0,373659	0,735714	0,756794	-0,278665	-0,205018	-0,578677
20	2,94	0,278571	0,275943	-1,287561	-0,358678	0,721429	0,724057	-0,322885	-0,232939	-0,591616
21	2,99	0,292857	0,284284	-1,257781	-0,368350	0,707143	0,715716	-0,334472	-0,236519	-0,604870
22	3,11	0,307143	0,304518	-1,189024	-0,365200	0,692857	0,695482	-0,363151	-0,251612	-0,616812
23	3,17	0,321429	0,314737	-1,156019	-0,371578	0,678571	0,685263	-0,377952	-0,256467	-0,628045
24	3,23	0,335714	0,325013	-1,123890	-0,377306	0,664286	0,674987	-0,393062	-0,261106	-0,638411
25	3,28	0,350000	0,333617	-1,097763	-0,384217	0,650000	0,666383	-0,405890	-0,263829	-0,648046
26	3,45	0,364286	0,363083	-1,013125	-0,369067	0,635714	0,636917	-0,451115	-0,286781	-0,655847
27	3,63	0,378571	0,394514	-0,930101	-0,352110	0,621429	0,605486	-0,501724	-0,311785	-0,663895
28	3,78	0,392857	0,420764	-0,865683	-0,340090	0,607143	0,579236	-0,546045	-0,331527	-0,671617
29	3,87	0,407143	0,436495	-0,828979	-0,337513	0,592857	0,563505	-0,573579	-0,340050	-0,677563
30	4,01	0,421429	0,460879	-0,774620	-0,326447	0,578571	0,539121	-0,617815	-0,357450	-0,683897
31	4,06	0,435714	0,469550	-0,755980	-0,329391	0,564286	0,530450	-0,634030	-0,357774	-0,687165
32	4,18	0,450000	0,490252	-0,712835	-0,320776	0,550000	0,509748	-0,673840	-0,370612	-0,691387
33	4,18	0,464286	0,490252	-0,712835	-0,330959	0,535714	0,509748	-0,673840	-0,360985	-0,691945
34	4,40	0,478571	0,527688	-0,639250	-0,305927	0,521429	0,472312	-0,750115	-0,391132	-0,697058
35	4,46	0,492857	0,537755	-0,620353	-0,305745	0,507143	0,462245	-0,771659	-0,391341	-0,697087
36	4,46	0,507143	0,537755	-0,620353	-0,314608	0,492857	0,462245	-0,771659	-0,380318	-0,694925
37	4,52	0,521429	0,547751	-0,601935	-0,313866	0,478571	0,452249	-0,793521	-0,379757	-0,693623
38	4,77	0,535714	0,588543	-0,530106	-0,283985	0,464286	0,411457	-0,888050	-0,412309	-0,696294
39	4,81	0,550000	0,594928	-0,519315	-0,285623	0,450000	0,405072	-0,903690	-0,406661	-0,692284
40	4,88	0,564286	0,605999	-0,500876	-0,282637	0,435714	0,394001	-0,931403	-0,405826	-0,688463
41	5,07	0,578571	0,635354	-0,453573	-0,262424	0,421429	0,364646	-1,008828	-0,425149	-0,687573
42	5,11	0,592857	0,641397	-0,444106	-0,263292	0,407143	0,358603	-1,025540	-0,417541	-0,680833
43	5,17	0,607143	0,650368	-0,430216	-0,261203	0,392857	0,349632	-1,050875	-0,412844	-0,674047
44	5,19	0,621429	0,653334	-0,425667	-0,264522	0,378571	0,346666	-1,059392	-0,401056	-0,665578
45	5,25	0,635714	0,662152	-0,412261	-0,262080	0,364286	0,337848	-1,085158	-0,395308	-0,657388
46	5,35	0,650000	0,676585	-0,390697	-0,253953	0,350000	0,323415	-1,128820	-0,395087	-0,649040
47	5,53	0,664286	0,701707	-0,354240	-0,235316	0,335714	0,298293	-1,209678	-0,406106	-0,641423
48	5,54	0,678571	0,703069	-0,352300	-0,239061	0,321429	0,296931	-1,214256	-0,390297	-0,629357
49	5,54	0,692857	0,703069	-0,352300	-0,244094	0,307143	0,296931	-1,214256	-0,372950	-0,617044

Продолжение таблицы 5.5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
50	5,64	0,707143	0,716496	-0,333382	-0,235749	0,292857	0,283504	-1,260529	-0,369155	-0,604904
51	5,75	0,721429	0,730847	-0,313552	-0,226205	0,278571	0,269153	-1,312474	-0,365618	-0,591823
52	5,80	0,735714	0,737222	-0,304866	-0,224294	0,264286	0,262778	-1,336447	-0,353204	-0,577498
53	5,91	0,750000	0,750921	-0,286455	-0,214841	0,250000	0,249079	-1,389985	-0,347496	-0,562337
54	5,93	0,764286	0,753363	-0,283208	-0,216452	0,235714	0,246637	-1,399838	-0,329962	-0,546414
55	6,00	0,778571	0,761791	-0,272083	-0,211836	0,221429	0,238209	-1,434606	-0,317663	-0,529499
56	6,13	0,792857	0,776950	-0,252380	-0,200101	0,207143	0,223050	-1,500358	-0,310788	-0,510889
57	6,25	0,807143	0,790371	-0,235253	-0,189882	0,192857	0,209629	-1,562417	-0,301323	-0,491206
58	6,41	0,821429	0,807413	-0,213920	-0,175720	0,178571	0,192587	-1,647206	-0,294144	-0,469864
59	6,56	0,835714	0,822506	-0,195399	-0,163298	0,164286	0,177494	-1,728820	-0,284020	-0,447318
60	6,68	0,850000	0,833972	-0,181556	-0,154323	0,150000	0,166028	-1,795596	-0,269339	-0,423662
61	6,72	0,864286	0,837674	-0,177126	-0,153088	0,135714	0,162326	-1,818148	-0,246749	-0,399836
62	7,08	0,878571	0,868367	-0,141141	-0,124003	0,121429	0,131633	-2,027735	-0,246225	-0,370228
63	7,17	0,892857	0,875319	-0,133167	-0,118899	0,107143	0,124681	-2,081997	-0,223071	-0,341970
64	7,17	0,907143	0,875319	-0,133167	-0,120801	0,092857	0,124681	-2,081997	-0,193328	-0,314130
65	7,44	0,921429	0,894524	-0,111463	-0,102705	0,078571	0,105476	-2,249275	-0,176729	-0,279434
66	7,61	0,935714	0,905397	-0,099382	-0,092993	0,064286	0,094603	-2,358062	-0,151590	-0,244583
67	8,24	0,950000	0,938249	-0,063739	-0,060552	0,050000	0,061751	-2,784652	-0,139233	-0,199785
68	9,19	0,964286	0,969748	-0,030719	-0,029622	0,035714	0,030252	-3,498180	-0,124935	-0,154557
69	9,57	0,978571	0,977794	-0,022456	-0,021975	0,021429	0,022206	-3,807411	-0,081587	-0,103562
70	12,18	0,992857	0,998170	-0,001831	-0,001818	0,007143	0,001830	-6,303656	-0,045026	-0,046844
									Σ	-35,131267

Тогда, для

$$\Omega^2 = -70 - 2(-35,131267) = 0,262534$$

по таблице Д.1 определим методом линейной интерполяции значение функции $a^*(\Omega^2)$, которое будет равно 0,031. Задавшись уровнем значимости $\alpha=0,1$, проверим выполнение условия

$$a^*(\Omega^2) < 1 - \alpha .$$

Поскольку $0,031 < 0,9$, т.е. условие выполняется, то выдвинутая гипотеза о характере эмпирического распределения, согласующегося с законом Вейбулла, подтверждается.

2 РАСЧЕТ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БЕЗОТКАЗНОСТИ УЗЛА ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Узел технической системы (пара) состоит из двух последовательно соединенных в смысле надежности элементов, распределения наработок которых до отказа не противоречат законам с параметрами, выявленным в предыдущем разделе. В таблице 6 приведен пример для узла из пяти деталей. Необходимо определить среднюю наработку узла до первого отказа и среднюю наработку на отказ за период эксплуатации 250 тыс.км.

Таблица 6 – Исходные данные

	деталь1	деталь2	деталь3	деталь4	деталь5
t_1 , тыс.км	126,0	96,0	164,0	180,0	175,0
σ_1 , тыс.км	36,0	30,8	41,0	36,0	56,0
t_2 , тыс.км	113,0	71,7	123,0	135,0	131,0
σ_2 , тыс.км	33,0	23,0	35,0	37,0	42,0
t_3 , тыс.км	88,0	57,6	98,0	100,0	105,0
σ_3 , тыс.км	31,0	19,2	31,0	33,0	35,0

Решение.

Определим вероятность безотказной работы узла технической системы по зависимости вида

$$P_u(t) = \prod_{i=1}^M P_i(t).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 7.

Таблица 7 – Вероятность безотказной работы технической системы

t, тыс.км	$P_1(t)$	$P_2(t)$	$P_3(t)$	$P_4(t)$	$P_5(t)$	$P_u(t)$
1	2	3	4	5	6	7
0	0,999767	0,999086	0,999968	1,000000	0,999111	0,997934
10	0,999364	0,997382	0,999914	0,999999	0,998393	0,995059
20	0,998382	0,993198	0,999778	0,999996	0,997179	0,988569
30	0,996170	0,983938	0,999459	0,999985	0,995191	0,974913
40	0,991550	0,965482	0,998754	0,999950	0,992039	0,948472
50	0,982619	0,932348	0,997286	0,999848	0,987197	0,901821
60	0,966624	0,878764	0,994403	0,999571	0,979991	0,827424
70	0,940093	0,800709	0,989067	0,998877	0,969604	0,721070
80	0,899336	0,698287	0,979758	0,997263	0,955098	0,586047
90	0,841345	0,577227	0,964453	0,993790	0,935475	0,435440
100	0,764921	0,448335	0,940735	0,986866	0,909761	0,289649
110	0,671639	0,324718	0,906093	0,974079	0,877121	0,168838
120	0,566184	0,217925	0,858403	0,952210	0,836985	0,084412
130	0,455764	0,134819	0,796524	0,917567	0,789178	0,035441
140	0,348679	0,076564	0,720849	0,866740	0,734015	0,012243
150	0,252492	0,039780	0,633623	0,797672	0,672356	0,003413
160	0,172471	0,018858	0,538860	0,710743	0,605595	0,000754

Продолжение таблицы 7

1	2	3	4	5	6	7
170	0,110812	0,008140	0,441826	0,609408	0,535573	0,000130
180	0,066807	0,003193	0,348178	0,500000	0,464427	0,000017
190	0,037720	0,001137	0,262993	0,390592	0,394405	0,000002
200	0,019913	0,000367	0,189959	0,289257	0,327644	0,000000
210	0,009815	0,000107	0,130942	0,202328	0,265985	0,000000
220	0,004512	0,000028	0,085993	0,133260	0,210822	0,000000
230	0,001933	0,000007	0,053726	0,082433	0,163015	0,000000
240	0,000771	0,000001	0,031894	0,047790	0,122879	0,000000
250	0,000286	0,000000	0,017972	0,025921	0,090239	0,000000

Для определения средней наработки системы до первого отказа произведем численное интегрирование значений вероятности безотказной работы системы методом Симпсона (можно использовать любой другой метод численного интегрирования). В результате получим, что средняя наработка системы до первого отказа составляет 94,7 тыс.км.

Для оценки средней наработки системы на отказ необходимо определить сумму математических ожиданий количества отказов элементов системы.

$$\Omega_u(t) = \sum_{i=1}^M \Omega_i(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^{\infty} F_{ik}(t).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 8.

Таблица 8 – Количество отказов технической системы

t, тыс.км	$\Omega_1(t)$	$\Omega_2(t)$	$\Omega_3(t)$	$\Omega_4(t)$	$\Omega_5(t)$	$\Omega_u(t)$
1	2	3	4	5	6	7
0	0,000233	0,00092	0,000032	0,000000	0,000895	0,002081
10	0,000637	0,002638	0,000086	0,000001	0,001619	0,004983
20	0,001621	0,006864	0,000223	0,000004	0,002844	0,011556
30	0,003840	0,016235	0,000542	0,000015	0,004850	0,025482
40	0,008473	0,034973	0,001248	0,000050	0,008034	0,052779
50	0,017437	0,068775	0,002719	0,000153	0,012932	0,102016
60	0,033502	0,123838	0,005610	0,000430	0,020233	0,183612
70	0,060181	0,204962	0,010962	0,001124	0,030777	0,308006
80	0,101239	0,313342	0,020304	0,002739	0,045536	0,483161
90	0,159817	0,445237	0,035677	0,006216	0,065561	0,712508
100	0,237335	0,592593	0,059528	0,013150	0,091901	0,994508
110	0,332578	0,745722	0,094425	0,025957	0,125495	1,324177
120	0,441403	0,896804	0,142582	0,047870	0,167057	1,695718
130	0,557383	1,042417	0,205290	0,082604	0,216954	2,104649
140	0,673270	1,183814	0,282389	0,133614	0,275119	2,548205
150	0,782839	1,325127	0,371978	0,203032	0,341002	3,023977
160	0,882395	1,470757	0,470529	0,290612	0,413594	3,527888
170	0,971453	1,623398	0,573439	0,393110	0,491509	4,052909
180	1,052393	1,783413	0,675896	0,504524	0,573129	4,589355
190	1,129370	1,949412	0,773856	0,617261	0,656787	5,126686
200	1,206957	2,119321	0,864807	0,723922	0,740958	5,655965

Продолжение таблицы 8

1	2	3	4	5	6	7
210	1,288976	2,291302	0,948138	0,819066	0,824429	6,171912
220	1,377811	2,464175	1,025027	0,900347	0,906413	6,673773
230	1,474237	2,637392	1,097925	0,968681	0,986594	7,164830
240	1,577666	2,810784	1,169842	1,027529	1,065106	7,650928
250	1,686607	2,984312	1,243644	1,081686	1,142441	8,138690

По полученным расчетным данным построим график отказов технической системы (рисунок 3).

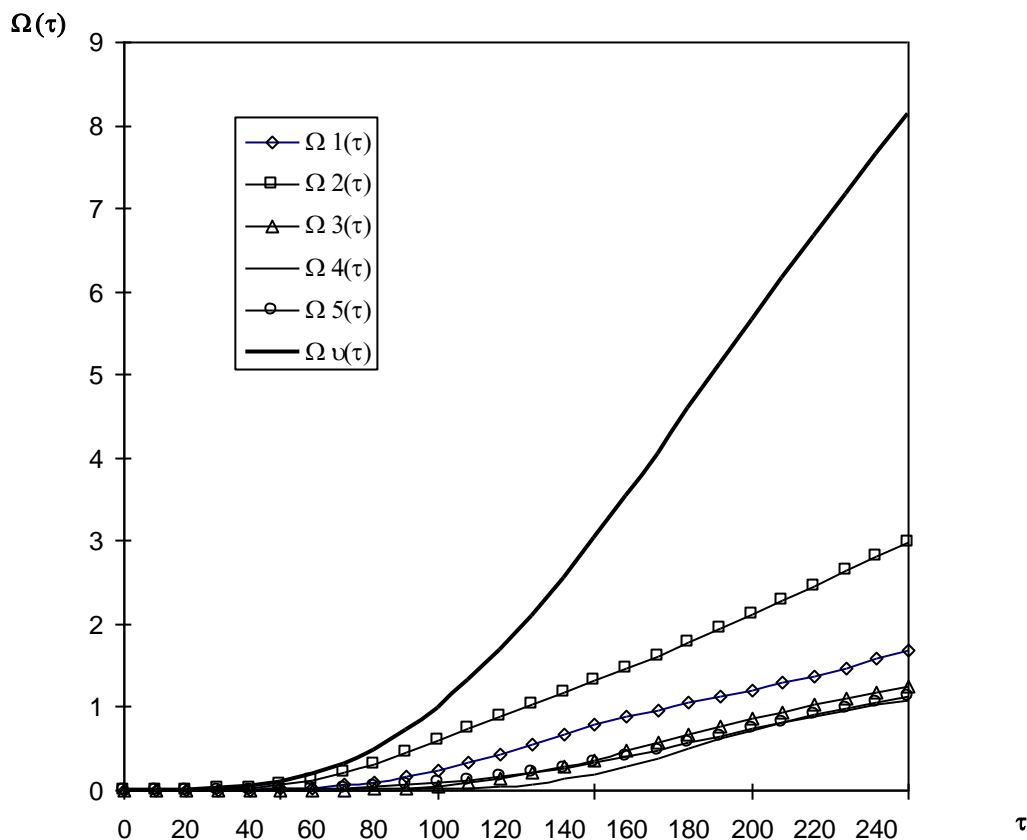


Рисунок 3 - Количество отказов технической системы

Соотнеся продолжительность эксплуатации системы t с ожидаемым количеством ее отказов за этот же промежуток времени, получим среднюю наработку системы на отказ, равную 30,7 тыс.км.

3 ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ДЛЯ РАСЧЕТОВ НАДЕЖНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Исходные данные.

Результаты экспериментальных исследований надежности пары сопряженных деталей транспортных машин при подконтрольной эксплуатации представлены в таблицах 9 и 10.

Вариант исходных данных о наработках до отказа первой детали исследуемого сопряжения (таблица 9) определяется предпоследней цифрой зачетно-экзаменационной книжки. Вариант исходных данных о наработках до отказа второй детали исследуемого сопряжения (таблица 10) определяется последней цифрой зачетно-экзаменационной книжки.

Задание 1.

Обработать статистическую информацию об отказах первой и второй деталей (по вариантам) и определить вид закона распределения их наработок до отказа. Рассчитать оценки параметров законов распределения их наработок. Проверить согласие теоретического закона распределения с эмпирическими данными.

Порядок расчетов приведен в разделе 1.

Задание 2.

На основе результатов обработки статистической информации об отказах первой и второй деталей (по вариантам) определить среднюю наработку узла до первого отказа и среднюю наработку на отказ за период эксплуатации 250 тыс.км.

Порядок расчетов приведен в разделе 2.

Результаты расчетов оформить в виде сброшюрованной расчетно-графической работы в соответствии с требованиями ГОСТ 2.105-95.

Таблица 9 – Исходные данные о наработках до отказа первой детали

<i>i</i>	Предпоследняя цифра зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	160,0	165,9	171,8	177,8	183,7	189,6	195,5	201,5	207,4	176,7
2	112,2	116,3	120,5	124,7	128,8	133,0	137,1	141,3	145,4	129,8
3	131,5	136,4	141,2	146,1	151,0	155,8	160,7	165,6	170,5	132,0
4	125,6	130,2	134,9	139,5	144,2	148,8	153,5	158,1	162,8	209,4
5	138,9	144,1	149,2	154,4	159,5	164,6	169,8	174,9	180,1	158,6
6	168,9	175,1	181,4	187,7	193,9	200,2	206,4	212,7	218,9	229,5
7	107,5	111,4	115,4	119,4	123,4	127,4	131,3	135,3	139,3	126,4
8	136,4	141,4	146,5	151,5	156,6	161,6	166,7	171,7	176,8	112,6
9	195,4	202,6	209,8	217,1	224,3	231,5	238,8	246,0	253,2	178,8
10	109,5	113,5	117,6	121,7	125,7	129,8	133,8	137,9	141,9	171,9
11	163,9	170,0	176,0	182,1	188,2	194,2	200,3	206,4	212,5	83,9
12	166,2	172,3	178,5	184,7	190,8	197,0	203,1	209,3	215,4	131,5
13	121,1	125,6	130,1	134,6	139,0	143,5	148,0	152,5	157,0	130,9
14	144,3	149,7	155,0	160,4	165,7	171,0	176,4	181,7	187,1	119,6
15	125,6	130,2	134,9	139,5	144,2	148,8	153,5	158,1	162,8	150,6
16	170,4	176,7	183,0	189,3	195,6	201,9	208,2	214,5	220,9	177,8
17	125,1	129,8	134,4	139,1	143,7	148,3	153,0	157,6	162,2	124,7
18	127,3	132,0	136,7	141,5	146,2	150,9	155,6	160,3	165,0	146,1
19	202,0	209,4	216,9	224,4	231,9	239,4	246,8	248,4	261,8	139,5
20	153,0	158,6	164,3	170,0	175,6	181,3	186,9	192,6	198,3	154,4
21	221,0	229,5	237,7	245,9	254,0	262,2	270,4	278,6	286,8	187,7
22	121,9	126,4	130,9	135,5	140,0	144,5	149,0	153,5	158,0	119,4
23	108,5	112,6	116,6	120,6	124,6	128,6	132,7	136,7	140,7	151,5
24	172,4	178,8	185,2	191,6	197,9	204,3	210,7	217,1	223,5	217,1
25	165,8	171,9	178,1	184,2	190,3	196,5	202,6	208,8	214,9	121,7
26	80,9	83,9	86,9	89,9	92,8	95,8	98,8	101,8	104,8	182,1
27	126,8	131,5	136,2	140,9	145,5	150,2	154,9	159,6	164,3	184,7
28	126,2	130,9	135,6	140,3	144,9	149,6	154,3	159,0	163,6	134,6
29	115,3	119,6	123,8	128,1	132,4	136,6	140,9	145,2	149,5	160,4
30	145,3	150,6	156,0	161,4	166,8	172,2	177,5	182,9	188,3	139,5
31	189,4	196,4	203,4	210,5	217,5	224,5	231,5	238,5	245,5	137,3
32	156,6	162,4	168,2	174,0	179,8	185,6	191,4	197,2	203,0	273,0
33	140,8	146,0	151,2	156,5	161,7	166,9	172,1	177,3	182,5	164,9
34	152,0	157,6	163,3	168,9	174,5	180,2	185,8	191,4	197,1	101,2
35	104,2	108,1	111,9	115,8	119,7	123,5	127,4	131,2	135,1	208,0
36	149,2	154,7	160,2	165,8	171,3	176,8	182,3	187,9	193,4	211,0
37	94,0	97,4	100,9	104,4	107,9	111,4	114,8	118,3	121,8	138,9
38	140,8	146,0	151,2	156,5	161,7	166,9	172,1	177,3	182,5	174,7
39	169,0	175,3	181,5	187,8	194,1	200,3	206,6	212,8	219,1	158,1
40	133,3	138,2	143,1	148,1	153,0	157,9	162,9	167,8	172,7	147,9
41	91,4	94,8	98,2	101,6	104,9	108,3	111,7	115,1	118,5	193,9
42	122,2	126,7	131,2	135,8	140,3	144,8	149,3	153,9	158,4	169,4
43	140,5	145,7	150,9	156,2	161,4	166,6	171,8	177,0	182,2	206,9
44	152,3	157,9	163,6	169,2	174,8	180,5	186,1	191,8	197,4	112,7
45	188,6	195,6	202,6	209,6	216,5	223,5	230,5	237,5	244,5	179,5
46	119,6	124,0	128,5	132,9	137,3	141,8	146,2	150,6	155,1	203,4
47	237,7	246,5	255,3	264,2	273,0	281,8	290,6	299,4	308,2	168,2
48	143,6	149,0	154,3	159,6	164,9	170,2	175,6	180,9	186,2	151,2
49	88,2	91,4	94,7	98,0	101,2	104,5	107,7	111,0	114,3	163,3
50	181,2	187,9	194,6	201,3	208,0	214,7	221,4	228,1	234,9	111,9
51	183,7	190,5	197,3	204,2	211,0	217,8	224,6	231,4	238,2	160,2
52	121,0	125,4	129,9	134,4	138,9	143,4	147,8	152,3	156,8	100,9
53	152,1	157,8	163,4	169,1	174,7	180,3	186,0	191,6	197,2	151,2
54	137,7	142,8	147,9	153,0	158,1	163,2	168,3	173,4	178,5	181,5
55	128,8	133,6	138,3	143,1	147,9	152,6	157,4	162,2	167,0	143,1

Продолжение таблицы 9.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
56	168,9	175,1	181,4	187,7	193,9	200,2	206,4	212,7	218,3	98,2
57	147,6	153,0	158,5	164,0	169,4	174,9	180,3	185,8	191,3	131,2
58	180,2	186,9	193,6	200,3	206,9	213,6	220,3	227,0	233,6	150,9
59	98,1	101,8	105,4	109,1	112,7	116,3	120,0	123,6	127,2	163,6
60	156,3	162,1	167,9	173,7	179,5	185,3	191,1	196,9	202,7	202,6
61	167,0	173,2	179,4	185,6	191,7	197,9	204,1	210,3	216,5	145,7
62	145,0	150,8	156,2	161,6	166,9	172,3	177,7	183,1	188,5	179,4
63	104,2	108,1	111,9	115,8	119,7	123,5	127,4	131,2	135,1	194,2
64	122,6	127,1	131,7	136,2	140,7	145,3	149,8	154,4	158,9	72,1
65	127,4	132,2	136,9	141,6	146,3	151,0	155,8	160,5	165,2	161,7
66	117,0	121,4	125,7	130,1	134,4	138,7	143,1	147,4	151,7	132,2
67	92,1	95,5	98,9	102,3	105,7	109,1	112,5	115,9	119,4	130,5
68	132,6	137,5	142,4	147,3	152,2	157,1	162,0	166,9	171,9	235,6
69	114,1	118,3	122,5	126,8	131,0	135,2	139,4	143,7	147,9	136,1
70	137,4	142,5	147,6	152,7	157,8	162,9	168,0	173,1	178,2	122,4
71	141,5	146,7	152,0	157,2	162,4	167,7	172,9	178,2	183,4	270,4
72	142,4	147,7	153,0	158,3	163,5	168,8	174,1	179,4	184,6	184,6
73	107,1	111,0	115,0	119,0	122,9	126,9	130,8	134,8	138,8	138,8
74	140,9	146,2	151,4	156,6	161,8	167,0	172,3	177,5	182,7	182,7
75	100,2	103,9	107,6	111,3	115,0	118,7	122,4	126,1	129,9	129,9
76	119,2	123,6	128,0	132,5	136,9	141,3	145,7	150,1	154,5	216,5
77	146,7	152,2	157,6	163,1	168,5	173,9	179,4	184,8	190,2	188,5
78	158,9	164,8	170,7	176,6	182,4	188,3	194,2	200,1	206,0	135,1
79	140,8	146,0	151,2	156,5	161,7	166,9	72,1	177,3	182,5	158,9
80	132,3	137,2	142,1	147,0	151,9	156,8	161,7	166,6	171,5	165,2
81	108,1	112,1	116,1	120,2	124,2	128,2	132,2	136,2	140,2	151,7
82	105,4	110,7	114,7	118,7	122,6	126,6	130,5	134,5	138,4	119,4
83	192,8	199,9	207,1	214,2	221,3	228,5	235,6	242,8	249,9	171,9
84	111,4	115,5	119,6	123,8	127,9	132,0	136,1	140,3	144,4	147,9
85	100,2	103,9	107,6	111,3	115,0	118,7	122,4	126,1	129,9	178,2
86	221,2	229,4	237,6	245,8	254,1	262,2	270,4	278,6	286,8	183,4

Таблица 10 – Исходные данные о наработках до отказа второй детали

i	Последняя цифра зачетной книжки									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	66,8	69,7	72,6	75,5	78,4	81,3	84,2	87,1	90,0	17,2
2	44,6	46,5	48,5	50,4	52,3	54,3	56,2	58,1	60,1	41,8
3	51,7	54,0	56,2	58,5	60,7	62,9	65,2	67,4	69,7	63,9
4	71,7	74,8	78,0	81,1	84,2	87,3	90,4	93,5	96,7	61,6
5	48,8	50,9	53,1	55,2	57,3	59,4	61,5	63,7	65,8	43,6
6	91,9	95,9	99,9	103,9	107,9	111,9	115,9	119,9	123,9	58,9
7	47,7	49,8	51,9	53,9	56,0	58,1	60,2	62,2	64,3	21,8
8	23,3	24,3	25,4	26,4	27,4	28,4	29,4	30,4	31,4	11,6
9	14,3	14,9	15,5	16,1	16,7	17,4	18,0	18,6	19,2	40,4
10	50,7	52,9	55,1	57,3	59,5	61,7	63,9	66,1	68,3	27,1
11	16,5	17,2	18,0	18,7	19,4	20,1	20,8	21,5	22,3	66,8
12	40,1	41,8	43,6	45,3	47,0	48,8	50,5	52,3	54,0	44,6
13	61,3	63,9	66,6	69,3	71,9	74,6	77,3	79,9	82,6	51,7
14	59,1	61,6	64,2	66,8	69,3	71,9	74,5	77,0	79,6	71,7
15	41,8	43,6	45,5	47,3	49,1	50,9	52,7	54,5	56,4	48,8
16	56,4	58,9	61,3	63,8	66,2	68,7	71,1	73,6	76,0	91,9
17	20,9	21,8	22,7	23,6	24,5	25,4	26,3	27,2	28,2	47,7
18	11,1	11,6	12,1	12,6	13,1	13,6	14,0	14,5	15,0	23,3
19	38,7	40,4	42,1	43,7	45,4	47,1	48,8	50,5	52,1	14,3
20	26,0	27,1	28,3	29,4	30,5	31,6	32,8	33,9	35,0	50,7

Продолжение таблицы 10.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
21	44,0	45,9	47,9	49,8	51,7	53,6	55,5	57,4	59,3	35,8
22	27,4	28,6	29,8	31,0	32,2	38,4	44,6	35,8	37,0	62,6
23	44,6	46,5	48,5	50,4	52,3	54,3	56,2	58,1	60,1	58,7
24	8,9	9,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,6	12,0	45,9
25	55,4	57,8	60,2	62,6	65,0	67,4	69,8	72,2	74,7	17,2
26	52,5	54,8	57,1	59,4	61,7	64,0	66,2	68,5	70,8	18,2
27	76,1	79,4	82,8	86,1	89,4	92,7	96,0	99,3	102,6	80,1
28	64,1	66,9	69,7	72,4	75,2	78,0	80,8	83,6	86,4	18,5
29	24,7	25,8	26,9	27,9	29,0	30,1	31,2	32,2	33,3	35,2
30	67,2	70,1	73,0	75,9	78,8	81,8	84,7	87,6	90,5	17,7
31	31,7	33,0	34,4	35,8	37,2	38,5	39,9	41,3	42,7	47,9
32	55,3	57,7	60,2	62,6	65,0	67,4	69,8	72,2	74,6	29,8
33	51,9	54,1	56,4	58,7	60,9	63,2	65,4	67,7	69,9	48,5
34	40,6	42,3	44,1	45,9	47,6	49,4	51,2	52,9	54,7	9,7
35	15,2	15,9	16,6	17,2	17,9	18,5	19,2	19,9	20,5	60,2
36	16,1	16,8	17,5	18,2	18,9	19,6	20,3	21,0	21,7	57,1
37	70,8	73,9	77,0	80,1	83,2	86,2	89,3	92,4	95,5	82,8
38	16,3	17,0	17,8	18,5	19,2	19,9	20,6	21,3	22,0	69,7
39	31,1	32,5	33,8	35,2	36,5	37,9	39,2	40,6	41,9	26,9
40	15,7	16,4	17,1	17,7	18,4	19,1	19,8	20,5	21,1	73,0
41	57,5	60,0	62,5	65,0	67,5	69,9	72,4	74,9	77,4	35,8
42	18,5	19,3	20,2	21,0	21,8	22,6	23,4	24,2	25,0	100,3
43	41,8	43,6	45,4	47,2	49,0	50,8	52,7	54,5	56,3	41,9
44	29,9	31,2	32,6	33,9	35,2	36,5	37,8	39,1	40,4	28,5
45	122,8	128,2	133,5	138,8	144,2	149,5	154,9	160,2	165,5	32,9
46	95,7	99,8	104,0	108,2	112,3	116,5	120,6	124,8	129,0	32,6
47	65,6	68,4	71,3	74,1	77,0	79,8	82,7	85,5	88,4	25,1
48	53,5	55,9	58,2	60,5	62,9	65,2	67,5	69,8	72,2	76,1
49	32,8	34,4	35,8	37,2	38,7	40,1	41,5	43,0	44,4	11,3
50	37,8	39,5	41,1	42,7	44,0	46,0	47,7	49,3	51,0	90,6
51	29,4	30,7	32,0	33,3	34,6	35,8	37,1	38,4	39,7	90,4
52	82,4	86,0	89,6	93,1	96,7	100,3	103,9	107,5	111,0	74,7
53	34,5	36,0	37,5	39,0	40,5	41,9	43,4	44,9	46,4	40,8
54	23,4	24,4	25,4	26,4	27,4	28,5	29,5	30,5	31,5	69,9
55	27,1	28,2	29,4	30,6	31,8	32,9	34,1	35,5	36,5	60,6
56	26,8	27,9	29,1	30,3	31,4	32,6	33,8	34,9	36,1	75,5
57	20,6	21,5	22,4	23,3	24,2	25,1	26,0	26,9	27,8	64,4
58	62,5	65,2	67,9	70,6	73,3	76,1	78,8	81,5	84,2	45,8
59	8,3	9,7	10,1	10,5	10,9	11,3	11,7	12,1	12,5	78,1
60	74,4	77,7	80,9	84,1	87,4	90,6	93,8	97,1	100,3	57,0
61	71,7	74,8	77,9	81,0	84,1	87,3	90,4	93,5	96,6	35,8
62	59,3	61,8	64,4	67,0	69,6	72,1	74,7	77,3	79,9	100,3
63	32,3	33,7	35,2	36,6	38,0	39,4	40,8	42,2	43,6	41,9
64	55,4	57,8	60,3	62,7	65,1	67,5	69,9	72,3	74,7	28,5
65	48,1	50,2	52,3	54,3	56,4	58,5	60,6	62,7	64,8	32,9
66	60,0	62,5	65,1	67,7	70,3	72,9	75,5	78,1	80,7	32,6
67	51,1	53,3	55,6	57,8	60,0	62,2	64,4	66,7	68,9	25,1
68	36,3	37,9	39,5	41,1	42,7	44,2	45,8	47,4	49,0	76,1
69	58,0	60,5	63,1	65,6	68,1	70,6	78,1	75,7	78,2	11,3
70	45,2	47,2	49,2	51,1	53,1	55,1	57,0	59,0	61,0	90,6

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Вентцель Е.С. Теория вероятностей. – М.: Наука, 1969. – 576с.
- 2 Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 524 с.
- 3 Кокс Д.Р., Смит В.Л. Теория восстановления / Пер. с англ. – М.: Советское радио, 1967. – 299с.
- 4 Корн К., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 831с.
- 5 Кугель Р.В. Долговечность автомобиля. – М.: Машгиз, 1961. – 432 с.
- 6 Кугель Р.В. Испытания на надежность машин и их элементов. – М.: Машиностроение, 1982. – 181с.
- 7 Кугель Р.В. Надежность машин массового производства. – М.: Машиностроение, 1981. – 224с.
- 8 Кузьмин Ф.И. Задачи обеспечения надежности технических систем. – М.: Радио и связь, 1982. – 176 с.
- 9 Кульсеитов Ж.О., Лисьев В.П. Математические модели и поддержание надежности машин. – Алматы: Гылым, 1996. – 222с.
- 10 Муздыбаев М.С. Расчет затрат на поддержание надежности машин с учетом характера ремонтных работ // Вестник ВКГТУ имени Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2001. – №4 – С.145-149
- 11 Муздыбаев М.С., Ефремов И.И. Влияние выбора запасных частей на уровень надежности узлов машин // Вестник ВКГТУ имени Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2001. – №4 – С.61-67
- 12 Муздыбаев М.С., Ефремов И.И. Влияние качества изготовления деталей на надежность узлов машин // Вестник ВКГТУ имени Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2002. – №1. – С. 70-74.
- 13 Муздыбаев М.С., Ефремов И.И. Методика оценки использования деталей машин при их групповой замене // Вестник ВКГТУ имени Д. Серикбаева. – Усть-Каменогорск, 2002. – №1. – С. 98-102.
- 14 Надежность технических систем / Справочник. Под ред. И.А. Ушакова. – М.: Радио и связь, 1983. – 606 с.
- 15 Шейнин А.М. Методы определения и поддержания надежности автомобилей в эксплуатации. - М.: Транспорт, 1968.- 97с.
- 16 Шейнин А.М. Основные принципы управления надежностью машин в эксплуатации. - М.: Знание, 1977.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(обязательное)

Стандартное нормальное распределение

Таблица А.1 – Дифференциальная функция стандартного нормального распределения $\phi(x)$

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,398942280	0,398922334	0,398862500	0,398762797	0,398623254	0,398443914	0,398224830	0,397966068	0,397667706	0,397329832
0,1	0,396952547	0,396535966	0,396080212	0,395585421	0,395051741	0,394479331	0,393868362	0,393219015	0,392531483	0,391805971
0,2	0,391042694	0,390241878	0,389403759	0,388528585	0,387616615	0,386668117	0,385683369	0,384662661	0,383606292	0,382514571
0,3	0,381387815	0,380226355	0,379030526	0,377800677	0,376537162	0,375240347	0,373910605	0,372548319	0,371153879	0,369727684
0,4	0,368270140	0,366781662	0,365262673	0,363713600	0,362134882	0,360526962	0,358890291	0,357225325	0,355532529	0,353812370
0,5	0,352065327	0,350291879	0,348492513	0,346667721	0,344818001	0,342943855	0,341045789	0,339124313	0,337179944	0,335213199
0,6	0,333224603	0,331214680	0,329183961	0,327132977	0,325062264	0,322972360	0,320863804	0,318737138	0,316592908	0,314431657
0,7	0,312253933	0,310060285	0,307851260	0,305627410	0,303389284	0,301137432	0,298872406	0,296594755	0,294305030	0,292003780
0,8	0,289691553	0,287368897	0,285036358	0,282694482	0,280343811	0,277984886	0,275618247	0,273244431	0,270863972	0,268477402
0,9	0,266085250	0,263688042	0,261286301	0,258880547	0,256471294	0,254059056	0,251644341	0,249227652	0,246809491	0,244390351
1,0	0,241970725	0,239551098	0,237131952	0,234713764	0,232297005	0,229882141	0,227469632	0,225059935	0,222653499	0,220250767
1,1	0,217852177	0,215458162	0,213069147	0,210685552	0,208307790	0,205936269	0,203571388	0,201213543	0,198863119	0,196520499
1,2	0,194186055	0,191860155	0,189543158	0,187225418	0,184937281	0,182649085	0,180371163	0,178103839	0,175847430	0,173602247
1,3	0,171368592	0,169146761	0,166937042	0,164739715	0,162555055	0,160383327	0,158224790	0,156079696	0,153948287	0,151830800
1,4	0,149727466	0,147638504	0,145564130	0,143504551	0,141459965	0,139430566	0,137416539	0,135418062	0,133435304	0,131468430
1,5	0,129517596	0,127582951	0,125664637	0,123762790	0,121877537	0,120009001	0,118157295	0,116322528	0,114504800	0,112704207
1,6	0,110920835	0,109154766	0,107406075	0,105674831	0,103961095	0,102264925	0,100586368	0,098925471	0,097282269	0,095656796
1,7	0,094049077	0,092459133	0,090886979	0,089332623	0,087796071	0,086277319	0,084776361	0,083293186	0,081827776	0,080380109
1,8	0,078950158	0,077537892	0,076143274	0,074766262	0,073406813	0,072064874	0,070740393	0,069433312	0,068143566	0,066871091
1,9	0,065615815	0,064377664	0,063156561	0,061952425	0,060765169	0,059594706	0,058440944	0,057303789	0,056183142	0,055078902
2,0	0,053990967	0,052919228	0,051863577	0,050823901	0,049800088	0,048792019	0,047799575	0,046822635	0,045861076	0,044914772

Продолжение таблицы А.1

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2,1	0,043983596	0,043067418	0,042166107	0,041279530	0,040407554	0,039550042	0,038706856	0,037877859	0,037062910	0,036261869
2,2	0,035474593	0,034700939	0,0339440763	0,033193921	0,032460266	0,031739652	0,031031932	0,030336959	0,029654585	0,028984661
2,3	0,028327038	0,027681567	0,027048100	0,026426485	0,025816575	0,025218220	0,024631269	0,024055574	0,023490985	0,022937354
2,4	0,022394530	0,021862367	0,021340715	0,020829427	0,020328356	0,019837354	0,019356277	0,018884977	0,018423311	0,017971133
2,5	0,017528300	0,017094670	0,016670101	0,016254450	0,015847579	0,015449347	0,015059616	0,014678249	0,014305109	0,013940061
2,6	0,013582969	0,013233702	0,012892126	0,012558111	0,012231526	0,011912244	0,011600135	0,011295075	0,010996937	0,010705598
2,7	0,010420935	0,010142827	0,009871154	0,009605797	0,009346638	0,009093563	0,008846454	0,008605201	0,008369689	0,008139809
2,8	0,007915452	0,007696508	0,007482873	0,007274439	0,007071105	0,006872767	0,006679324	0,006490676	0,006306726	0,006127377
2,9	0,005952532	0,005782099	0,005615984	0,005454095	0,005296344	0,005142641	0,004992899	0,004847033	0,004704958	0,004566590
3,0	0,004431848	0,004300652	0,004172923	0,004048582	0,003927554	0,003809762	0,003695134	0,003583596	0,003475077	0,003369508
3,1	0,003266819	0,003166943	0,003069813	0,002975365	0,002883534	0,002794258	0,002707476	0,002623126	0,002541150	0,002461490
3,2	0,002384088	0,0023308890	0,0022335839	0,002164884	0,002095971	0,002029048	0,001964066	0,001900975	0,001839726	0,001780273
3,3	0,001722569	0,001666569	0,001612227	0,001559502	0,001508351	0,001458731	0,001410602	0,001363925	0,001318661	0,001274771
3,4	0,001232219	0,001190968	0,001150983	0,001112230	0,001074673	0,001038281	0,001003021	0,000968862	0,000935772	0,000903722
3,5	0,000872683	0,000842625	0,000813521	0,000785344	0,000758067	0,000731664	0,000706111	0,000681381	0,000657452	0,000634300
3,6	0,000611902	0,000590236	0,000569280	0,000549013	0,000529415	0,000510465	0,000492144	0,000474434	0,000457315	0,000440769
3,7	0,000424780	0,000409330	0,000394403	0,000379981	0,000366051	0,000352596	0,000339601	0,000327053	0,000314937	0,000303239
3,8	0,000291947	0,000281047	0,000270527	0,000260375	0,000250578	0,000241127	0,000232008	0,000223212	0,000214728	0,000206546
3,9	0,000198655	0,000191047	0,000183712	0,000176641	0,000169826	0,000163256	0,000156926	0,000150825	0,000144948	0,000139285
4,0	0,000133830	0,000128576	0,000123516	0,000118643	0,000113951	0,000109434	0,000105085	0,000100899	0,000096870	0,000092993
4,1	0,000089262	0,000085672	0,000082218	0,000078895	0,000075700	0,000072626	0,000069670	0,000066828	0,000064095	0,000061468
4,2	0,000058943	0,000056516	0,000054183	0,000051942	0,000049788	0,000047719	0,000045731	0,000043821	0,000041988	0,000040226
4,3	0,000038535	0,000036911	0,000035353	0,000033856	0,000032420	0,000031041	0,000029719	0,000028449	0,000027231	0,000026063
4,4	0,000024942	0,000023868	0,000022837	0,000021848	0,000020900	0,000019992	0,000019121	0,000018286	0,000017486	0,000016719
4,5	0,000015984	0,000015280	0,000014605	0,000013959	0,000013340	0,000012747	0,000012180	0,000011636	0,000011116	0,000010618
4,6	0,000010141	0,000009684	0,000009248	0,000008830	0,000008430	0,000008047	0,000007681	0,000007331	0,000006996	0,000006676
4,7	0,000006370	0,000006077	0,000005797	0,000005530	0,000005274	0,000005030	0,000004796	0,000004573	0,000004360	0,000004156
4,8	0,000003961	0,000003775	0,000003598	0,000003428	0,000003267	0,000003112	0,000002965	0,000002824	0,000002690	0,000002561
4,9	0,000002439	0,000002322	0,000002211	0,000002105	0,000002003	0,000001907	0,000001814	0,000001727	0,000001643	0,000001563
5,0	0,000001487	0,000001414	0,000001345	0,000001279	0,000001216	0,000001156	0,000001099	0,000001045	0,000000993	0,000000944

Примечание к таблице А.1:

Дифференциальная функция стандартного нормального распределения $\varphi(x)$ имеет вид

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{x^2}{2}}$$

Плотность нормального распределения рассчитывают как

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \cdot \varphi(x), \quad x = \left| \frac{t - M[t]}{\sigma} \right|.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б
(обязательное)

Стандартное нормальное распределение

Таблица Б.1 – Интегральная функция стандартного нормального распределения $\Phi(x)$

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,50000000	0,503989379	0,507978354	0,511966527	0,515953499	0,519938873	0,523922253	0,527903240	0,531881440	0,535856456
0,1	0,539827896	0,543795364	0,547758470	0,551716823	0,555670033	0,559617712	0,563559473	0,567494933	0,571423709	0,575345420
0,2	0,579259687	0,583166134	0,5870664387	0,590954073	0,5948334824	0,598706274	0,602568057	0,606419814	0,610261186	0,614091818
0,3	0,617911357	0,621719457	0,625515770	0,629299955	0,633071673	0,636830590	0,640576374	0,644308699	0,648027240	0,651731677
0,4	0,655421697	0,659096986	0,662757237	0,666402148	0,670031420	0,673644759	0,677241874	0,680822481	0,684386299	0,687933051
0,5	0,691462467	0,694974281	0,698468229	0,701944056	0,705401511	0,708840345	0,712260318	0,715661192	0,719042736	0,722404724
0,6	0,725746935	0,729069152	0,732371166	0,735652770	0,738913765	0,742153956	0,745373154	0,748571176	0,751747842	0,754902979
0,7	0,758036422	0,761148006	0,764237576	0,767304982	0,770350076	0,773372720	0,776372779	0,779350124	0,782304631	0,785236183
0,8	0,788144666	0,791029974	0,793892006	0,796730665	0,799545861	0,802337508	0,805105527	0,807849842	0,810570386	0,813267094
0,9	0,815939908	0,818588775	0,821213646	0,823814480	0,826391238	0,828943888	0,831472403	0,833976760	0,836456943	0,838912939
1,0	0,841344740	0,843752345	0,846135756	0,848494980	0,850830029	0,853140919	0,855427672	0,857690314	0,859928875	0,862143390
1,1	0,864333898	0,866500443	0,868643073	0,870761839	0,872856799	0,874928011	0,876975542	0,878999459	0,880999834	0,882976744
1,2	0,884930268	0,886860491	0,888767499	0,890651383	0,892512238	0,894350161	0,896165253	0,897957619	0,899727366	0,901474606
1,3	0,903199451	0,904902018	0,906582427	0,908240802	0,909877266	0,911491948	0,913084979	0,914656492	0,916206622	0,917735507
1,4	0,919243289	0,920730109	0,922196112	0,923641445	0,925066257	0,926470700	0,927854925	0,929219087	0,930563344	0,931887852
1,5	0,933192771	0,934478263	0,935744490	0,936991617	0,938219807	0,939429229	0,940620050	0,941792438	0,942946563	0,944082597
1,6	0,945200711	0,946301077	0,947383870	0,9484449263	0,949497431	0,950528549	0,951542794	0,952540341	0,953521368	0,954486051
1,7	0,955434568	0,956367097	0,957283815	0,958184901	0,959070532	0,959940886	0,960796142	0,961636477	0,962462069	0,963273096
1,8	0,964069734	0,964852162	0,965620555	0,966375089	0,967115942	0,967843287	0,968557300	0,969258155	0,969946026	0,970621086
1,9	0,971283507	0,971933461	0,972571119	0,973196650	0,973810224	0,974412010	0,975002175	0,975580885	0,976148306	0,976704602
2,0	0,977249938	0,977784475	0,978308376	0,978821799	0,979324905	0,979817852	0,980300797	0,980773894	0,981237299	0,981691164

Продолжение таблицы Б.1

x	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
2.1	0,982135643	0,982570884	0,982997038	0,983414253	0,983822675	0,984222449	0,984613720	0,984996631	0,985371321	0,985737932
2.2	0,986096601	0,986444746	0,986790661	0,987126322	0,987454580	0,987775567	0,988089412	0,988396244	0,988696189	0,988989373
2.3	0,989275919	0,989555950	0,989829586	0,990096947	0,990358150	0,990613313	0,990862548	0,991105971	0,991343692	0,991575823
2.4	0,991802471	0,992023745	0,992239749	0,992450589	0,992656367	0,992857185	0,993053143	0,993244339	0,993430871	0,993612833
2.5	0,993790320	0,993963425	0,994132240	0,994296853	0,994457354	0,994613830	0,994766365	0,994915046	0,995059954	0,995201171
2.6	0,995338778	0,995472853	0,995603474	0,995730718	0,995854658	0,995975369	0,996092924	0,996207393	0,996318845	0,996427351
2.7	0,996532977	0,9966635789	0,9967935852	0,996927987	0,9970627987	0,9972020181	0,9973466365	0,9974915046	0,997636365	0,997781997
2.8	0,997444809	0,997522864	0,997598756	0,997672537	0,997744260	0,997813974	0,997881730	0,997947576	0,998011558	0,998073724
2.9	0,998134120	0,998192789	0,998249775	0,998305122	0,998358871	0,998411062	0,998461736	0,998510932	0,998558689	0,998605044
3.0	0,998650033	0,998693692	0,998736057	0,998777162	0,998817040	0,998855724	0,998893246	0,998929637	0,998964929	0,998999149
3.1	0,999032329	0,999064496	0,999095677	0,999125901	0,999155194	0,999183581	0,999211088	0,999237740	0,999263560	0,999288571
3.2	0,999312798	0,999336262	0,999358984	0,999380986	0,999402289	0,999422914	0,999442878	0,999462202	0,999480905	0,999499004
3.3	0,999516517	0,999533462	0,999549856	0,999565714	0,999581052	0,999595887	0,999610233	0,999624105	0,999637518	0,999650485
3.4	0,999663019	0,999675135	0,999686844	0,999698160	0,999709094	0,999719659	0,999729865	0,999739724	0,999749247	0,999758445
3.5	0,999767327	0,999775903	0,999784184	0,999792178	0,999799895	0,999807344	0,999814533	0,999821470	0,999828164	0,999834623
3.6	0,999840854	0,999846865	0,999852663	0,999858254	0,999863647	0,999868846	0,999873859	0,999878692	0,999883351	0,999887842
3.7	0,999892170	0,999896341	0,999900359	0,999904232	0,999907962	0,999911555	0,999915017	0,999918350	0,999921560	0,999924651
3.8	0,999927628	0,999930493	0,999933251	0,999935906	0,999938461	0,999940919	0,999943285	0,999945562	0,999947752	0,999949858
3.9	0,999951884	0,999953833	0,999955707	0,999957509	0,999959242	0,999960908	0,999962509	0,999964048	0,999965527	0,999966948
4.0	0,999968314	0,999969626	0,999970887	0,999972098	0,999973261	0,999974378	0,999975451	0,999976481	0,999977470	0,999978420
4.1	0,999979331	0,999980206	0,999981046	0,999981852	0,999982625	0,999983367	0,999984078	0,999984761	0,999985416	0,999986044
4.2	0,999986646	0,999987223	0,999987777	0,999988308	0,999988817	0,999989304	0,999989772	0,999990220	0,999990649	0,999991060
4.3	0,999991454	0,999991831	0,999992193	0,999992539	0,999992870	0,999993188	0,999993492	0,999993783	0,999994061	0,999994328
4.4	0,999994583	0,999994827	0,999995061	0,999995284	0,999995498	0,999995703	0,999995898	0,999996086	0,999996264	0,999996436
4.5	0,999996599	0,999996756	0,999996905	0,999997048	0,999997185	0,999997315	0,999997440	0,999997559	0,999997673	0,999997782
4.6	0,999997885	0,999997985	0,999998079	0,999998170	0,999998256	0,999998339	0,999998417	0,999998492	0,999998564	0,999998632
4.7	0,999998698	0,999998760	0,999998819	0,999998876	0,999998930	0,999998982	0,999999031	0,999999078	0,999999122	0,999999165
4.8	0,999999206	0,999999244	0,999999281	0,999999316	0,999999350	0,999999382	0,999999412	0,999999441	0,999999469	0,999999495
4.9	0,999999520	0,999999544	0,999999567	0,999999588	0,999999609	0,999999628	0,999999647	0,999999665	0,999999682	0,999999698
5.0	0,999999713	0,999999727	0,999999741	0,999999754	0,999999767	0,999999779	0,999999790	0,999999801	0,999999811	0,999999821

Примечание к таблице Б.1:

Интегральная функция стандартного нормального распределения $\Phi(x)$ имеет вид

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

Функцию нормального распределения рассчитывают как

$$\left\{ \begin{array}{l} F(t) = 1 - \Phi(x), \quad \frac{t - M[t]}{\sigma} < 0, \quad x = \left| \frac{t - M[t]}{\sigma} \right|, \\ F(t) = \Phi(x), \quad \frac{t - M[t]}{\sigma} > 0, \quad x = \frac{t - M[t]}{\sigma}. \end{array} \right.$$

ПРИЛОЖЕНИЕ В
(обязательное)

Распределение Вейбулла-Гнеденко

$$f(t) = b \cdot \frac{t^{b-1}}{a^b} \cdot e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}, \quad F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^b}.$$

Таблица В.1 – Параметры двухпараметрического закона Вейбулла-Гнеденко

$$K_b = \Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right), \quad G_b = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{1}{b}\right) - \Gamma^2\left(1 + \frac{2}{b}\right)}.$$

b	K_b	G_b	v
1,00	1,000000000	1,000000000	1,000000000
1,01	0,995854310	0,986008423	0,990113125
1,02	0,991867846	0,972474007	0,980447154
1,03	0,988033310	0,959374771	0,970994359
1,04	0,984343816	0,946690079	0,961747373
1,05	0,980792864	0,934400547	0,952699170
1,06	0,977374310	0,922487947	0,943843047
1,07	0,974082347	0,910935127	0,935172606
1,08	0,970911478	0,899725934	0,926681735
1,09	0,967856502	0,888845142	0,918364593
1,10	0,964912489	0,878278393	0,910215593
1,11	0,962074768	0,868012133	0,902229393
1,12	0,959338907	0,858033560	0,894400877
1,13	0,956700701	0,848330572	0,886725149
1,14	0,954156158	0,838891723	0,879197515
1,15	0,951701482	0,829706179	0,871813478
1,16	0,949333068	0,820763679	0,864568723
1,17	0,947047485	0,812054498	0,857459114
1,18	0,944841470	0,803569413	0,850480676
1,19	0,942711915	0,795299673	0,843629597
1,20	0,940655858	0,787236968	0,836902212
1,21	0,938670480	0,779373405	0,830294999
1,22	0,936753090	0,771701479	0,823804573
1,23	0,934901123	0,764214052	0,817427676
1,24	0,933112129	0,756904332	0,811161176
1,25	0,931383771	0,749765850	0,805002056
1,26	0,929713816	0,742792446	0,798947411

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
1,27	0,928100129	0,735978245	0,792994444
1,28	0,926540671	0,729317648	0,787140458
1,29	0,925033491	0,722805309	0,781382854
1,30	0,923576721	0,716436127	0,775719126
1,31	0,922168577	0,710205229	0,770146855
1,32	0,920807346	0,704107959	0,764663708
1,33	0,919491391	0,698139867	0,759267433
1,34	0,918219141	0,692296696	0,753955854
1,35	0,916989091	0,686574372	0,748726871
1,36	0,915799798	0,680968997	0,743578453
1,37	0,914649879	0,675476837	0,738508638
1,38	0,913538004	0,670094313	0,733515530
1,39	0,912462899	0,664817998	0,728597292
1,40	0,911423340	0,659644603	0,723752151
1,41	0,910418150	0,654570974	0,718978389
1,42	0,909446200	0,649594086	0,714274342
1,43	0,908506405	0,644711032	0,709638400
1,44	0,907597720	0,639919022	0,705069006
1,45	0,906719142	0,635215375	0,700564647
1,46	0,905869704	0,630597515	0,696123860
1,47	0,905048478	0,626062964	0,691745226
1,48	0,904254570	0,621609341	0,687427370
1,49	0,903487118	0,617234352	0,683168957
1,50	0,902745293	0,612935792	0,678968693
1,51	0,902028296	0,608711536	0,674825323
1,52	0,901335358	0,604559540	0,670737627
1,53	0,900665737	0,600477831	0,666704424
1,54	0,900018718	0,596464511	0,662724563
1,55	0,899393611	0,592517749	0,658796929
1,56	0,898789751	0,588635779	0,654920440
1,57	0,898206496	0,584816897	0,651094041
1,58	0,897643228	0,581059460	0,647316709
1,59	0,897099348	0,577361882	0,643587450
1,60	0,896574280	0,573722630	0,639905296
1,61	0,896067466	0,570140226	0,636269307
1,62	0,895578369	0,566613240	0,632678568
1,63	0,895106468	0,563140291	0,629132188

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
1,64	0,894651261	0,559720044	0,625629302
1,65	0,894212262	0,556351208	0,622169066
1,66	0,893789003	0,553032536	0,618750660
1,67	0,893381029	0,549762819	0,615373285
1,68	0,892987902	0,546540888	0,612036162
1,69	0,892609196	0,543365614	0,608738534
1,70	0,892244502	0,540235900	0,605479662
1,71	0,891893423	0,537150686	0,602258826
1,72	0,891555572	0,534108945	0,599075326
1,73	0,891230579	0,531109682	0,595928478
1,74	0,890918082	0,528151932	0,592817615
1,75	0,890617733	0,525234761	0,589742087
1,76	0,890329194	0,522357261	0,586701262
1,77	0,890052136	0,519518554	0,583694520
1,78	0,889786244	0,516717787	0,580721258
1,79	0,889531208	0,513954133	0,577780889
1,80	0,889286732	0,511226788	0,574872838
1,81	0,889052527	0,508534973	0,571996544
1,82	0,888828312	0,505877932	0,569151460
1,83	0,888613816	0,503254929	0,566337052
1,84	0,888408776	0,500665251	0,563552798
1,85	0,888212936	0,498108205	0,560798188
1,86	0,888026048	0,495583116	0,558072724
1,87	0,887847872	0,493089330	0,555375921
1,88	0,887678174	0,490626210	0,552707303
1,89	0,887516729	0,488193137	0,550066406
1,90	0,887363316	0,485789510	0,547452775
1,91	0,887217722	0,483414742	0,544865967
1,92	0,887079739	0,481068265	0,542305549
1,93	0,886949167	0,478749523	0,539771095
1,94	0,886825811	0,476457978	0,537262191
1,95	0,886709479	0,474193105	0,534778432
1,96	0,886599988	0,471954391	0,532319419
1,97	0,886497159	0,469741340	0,529884766
1,98	0,886400818	0,467553466	0,527474092
1,99	0,886310795	0,465390298	0,525087025
2,00	0,886226925	0,463251375	0,522723201

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
2,01	0,886149050	0,461136249	0,520382264
2,02	0,886077013	0,459044482	0,518063865
2,03	0,886010664	0,456975650	0,515767663
2,04	0,885949855	0,454929335	0,513493323
2,05	0,885894444	0,452905134	0,511240518
2,06	0,885844291	0,450902652	0,509008927
2,07	0,885799262	0,448921503	0,506798236
2,08	0,885759224	0,446961312	0,504608137
2,09	0,885724049	0,445021711	0,502438329
2,10	0,885693614	0,443102343	0,500288515
2,11	0,885667796	0,441202859	0,498158407
2,12	0,885646479	0,439322917	0,496047721
2,13	0,885629546	0,437462185	0,493956177
2,14	0,885616886	0,435620337	0,491883504
2,15	0,885608390	0,433797057	0,489829434
2,16	0,885603953	0,431992033	0,487793705
2,17	0,885603470	0,430204964	0,485776059
2,18	0,885606842	0,428435552	0,483776244
2,19	0,885613971	0,426683510	0,481794014
2,20	0,885624760	0,424948553	0,479829124
2,21	0,885639118	0,423230406	0,477881337
2,22	0,885656953	0,421528799	0,475950420
2,23	0,885678178	0,419843468	0,474036143
2,24	0,885702707	0,418174153	0,472138281
2,25	0,885730455	0,416520604	0,470256613
2,26	0,885761341	0,414882572	0,468390923
2,27	0,885795285	0,413259817	0,466540998
2,28	0,885832211	0,411652101	0,464706629
2,29	0,885872042	0,410059193	0,462887611
2,30	0,885914704	0,408480867	0,461083742
2,31	0,885960127	0,406916902	0,459294825
2,32	0,886008239	0,405367079	0,457520666
2,33	0,886058972	0,403831188	0,455761073
2,34	0,886112260	0,402309020	0,454015860
2,35	0,886168038	0,400800372	0,452284843
2,36	0,886226242	0,399305044	0,450567840
2,37	0,886286811	0,397822840	0,448864674

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
2,38	0,886349684	0,396353570	0,447175170
2,39	0,886414802	0,394897047	0,445499157
2,40	0,886482108	0,393453086	0,443836466
2,41	0,886551545	0,392021508	0,442186932
2,42	0,886623060	0,390602136	0,440550391
2,43	0,886696599	0,389194798	0,438926684
2,44	0,886772110	0,387799324	0,437315652
2,45	0,886849541	0,386415548	0,435717142
2,46	0,886928844	0,385043307	0,434131001
2,47	0,887009970	0,383682442	0,432557079
2,48	0,887092871	0,382332796	0,430995230
2,49	0,887177502	0,380994215	0,429445308
2,50	0,887263817	0,379666550	0,427907171
2,51	0,887351773	0,378349652	0,426380679
2,52	0,887441327	0,377043376	0,424865695
2,53	0,887532436	0,375747580	0,423362082
2,54	0,887625059	0,374462125	0,421869708
2,55	0,887719158	0,373186873	0,420388441
2,56	0,887814692	0,371921690	0,418918152
2,57	0,887911623	0,370666445	0,417458715
2,58	0,888009915	0,369421008	0,416010004
2,59	0,888109531	0,368185252	0,414571896
2,60	0,888210435	0,366959051	0,413144269
2,61	0,888312592	0,365742284	0,411727006
2,62	0,888415969	0,364534830	0,410319988
2,63	0,888520533	0,363336571	0,408923100
2,64	0,888626251	0,362147390	0,407536228
2,65	0,888733091	0,360967175	0,406159260
2,66	0,888841023	0,359795812	0,404792086
2,67	0,888950016	0,358633192	0,403434598
2,68	0,889060041	0,357479207	0,402086687
2,69	0,889171070	0,356333750	0,400748250
2,70	0,889283073	0,355196717	0,399419181
2,71	0,889396023	0,354068005	0,398099380
2,72	0,889509893	0,352947514	0,396788745
2,73	0,889624658	0,351835145	0,395487177
2,74	0,889740291	0,350730799	0,394194579

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
2,75	0,889856767	0,349634382	0,392910853
2,76	0,889974062	0,348545798	0,391635906
2,77	0,890092151	0,347464956	0,390369644
2,78	0,890211011	0,346391765	0,389111975
2,79	0,890330619	0,345326134	0,387862808
2,80	0,890450953	0,344267976	0,386622053
2,81	0,890571991	0,343217203	0,385389622
2,82	0,890693711	0,342173732	0,384165430
2,83	0,890816092	0,341137478	0,382949388
2,84	0,890939114	0,340108358	0,381741415
2,85	0,891062757	0,339086292	0,380541425
2,86	0,891187000	0,338071199	0,379349338
2,87	0,891311826	0,337063001	0,378165072
2,88	0,891437214	0,336061620	0,376988547
2,89	0,891563148	0,335066981	0,375819685
2,90	0,891689608	0,334079009	0,374658408
2,91	0,891816578	0,333097630	0,373504640
2,92	0,891944039	0,332122771	0,372358305
2,93	0,892071976	0,331154360	0,371219329
2,94	0,892200372	0,330192329	0,370087638
2,95	0,892329211	0,329236606	0,368963161
2,96	0,892458477	0,328287125	0,367845825
2,97	0,892588155	0,327343817	0,366735560
2,98	0,892718230	0,326406617	0,365632297
2,99	0,892848687	0,325475460	0,364535967
3,00	0,892979512	0,324550281	0,363446503
3,01	0,893110690	0,323631017	0,362363838
3,02	0,893242208	0,322717607	0,361287906
3,03	0,893374053	0,321809988	0,360218641
3,04	0,893506211	0,320908100	0,359155981
3,05	0,893638670	0,320011884	0,358099861
3,06	0,893771417	0,319121281	0,357050219
3,07	0,893904439	0,318236233	0,356006994
3,08	0,894037725	0,317356683	0,354970125
3,09	0,894171263	0,316482576	0,353939551
3,10	0,894305041	0,315613855	0,352915214
3,11	0,894439047	0,314750467	0,351897055

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
3,12	0,894573272	0,313892357	0,350885016
3,13	0,894707704	0,313039472	0,349879040
3,14	0,894842333	0,312191761	0,348879071
3,15	0,894977148	0,311349172	0,347885053
3,16	0,895112139	0,310511654	0,346896931
3,17	0,895247296	0,309679157	0,345914652
3,18	0,895382610	0,308851631	0,344938162
3,19	0,895518071	0,308029029	0,343967407
3,20	0,895653670	0,307211301	0,343002336
3,21	0,895789398	0,306398401	0,342042897
3,22	0,895925246	0,305590282	0,341089040
3,23	0,896061205	0,304786898	0,340140714
3,24	0,896197267	0,303988203	0,339197869
3,25	0,896333424	0,303194153	0,338260456
3,26	0,896469667	0,302404703	0,337328427
3,27	0,896605988	0,301619810	0,336401735
3,28	0,896742381	0,300839431	0,335480331
3,29	0,896878836	0,300063523	0,334564170
3,30	0,897015348	0,299292045	0,333653204
3,31	0,897151908	0,298524955	0,332747389
3,32	0,897288509	0,297762212	0,331846679
3,33	0,897425145	0,297003776	0,330951030
3,34	0,897561808	0,296249607	0,330060398
3,35	0,897698492	0,295499667	0,329174739
3,36	0,897835191	0,294753916	0,328294011
3,37	0,897971898	0,294012317	0,327418172
3,38	0,898108607	0,293274831	0,326547178
3,39	0,898245312	0,292541421	0,325680989
3,40	0,898382006	0,291812052	0,324819564
3,41	0,898518685	0,291086685	0,323962862
3,42	0,898655342	0,290365286	0,323110844
3,43	0,898791972	0,289647819	0,322263469
3,44	0,898928569	0,288934249	0,321420699
3,45	0,899065128	0,288224542	0,320582495
3,46	0,899201644	0,287518664	0,319748819
3,47	0,899338112	0,286816581	0,318919633
3,48	0,899474526	0,286118260	0,318094900

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
3,49	0,899610883	0,285423667	0,317274583
3,50	0,899747176	0,284732772	0,316458645
3,51	0,899883403	0,284045541	0,315647050
3,52	0,900019557	0,283361944	0,314839763
3,53	0,900155634	0,282681948	0,314036748
3,54	0,900291631	0,282005523	0,313237971
3,55	0,900427543	0,281332639	0,312443396
3,56	0,900563365	0,280663266	0,311652990
3,57	0,900699094	0,279997373	0,310866720
3,58	0,900834726	0,279334932	0,310084551
3,59	0,900970257	0,278675912	0,309306451
3,60	0,901105683	0,278020287	0,308532387
3,61	0,901241001	0,277368027	0,307762326
3,62	0,901376206	0,276719104	0,306996238
3,63	0,901511295	0,276073491	0,306234090
3,64	0,901646266	0,275431160	0,305475851
3,65	0,901781113	0,274792085	0,304721490
3,66	0,901915835	0,274156237	0,303970977
3,67	0,902050428	0,273523592	0,303224281
3,68	0,902184889	0,272894123	0,302481373
3,69	0,902319214	0,272267805	0,301742222
3,70	0,902453401	0,271644610	0,301006800
3,71	0,902587447	0,271024516	0,300275077
3,72	0,902721349	0,270407495	0,299547026
3,73	0,902855104	0,269793525	0,298822617
3,74	0,902988710	0,269182580	0,298101823
3,75	0,903122163	0,268574637	0,297384615
3,76	0,903255462	0,267969671	0,296670966
3,77	0,903388603	0,267367659	0,295960850
3,78	0,903521585	0,266768578	0,295254239
3,79	0,903654405	0,266172404	0,294551106
3,80	0,903787060	0,265579116	0,293851425
3,81	0,903919548	0,264988690	0,293155171
3,82	0,904051867	0,264401103	0,292462317
3,83	0,904184015	0,263816335	0,291772837
3,84	0,904315990	0,263234364	0,291086707
3,85	0,904447789	0,262655167	0,290403902

Продолжение таблицы В.1

b	K_b	G_b	v
3,86	0,904579411	0,262078723	0,289724396
3,87	0,904710853	0,261505012	0,289048165
3,88	0,904842115	0,260934012	0,288375184
3,89	0,904973193	0,260365703	0,287705431
3,90	0,905104086	0,259800064	0,287038881
3,91	0,905234792	0,259237075	0,286375510
3,92	0,905365310	0,258676717	0,285715295
3,93	0,905495638	0,258118969	0,285058213
3,94	0,905625774	0,257563812	0,284404242
3,95	0,905755717	0,257011226	0,283753358
3,96	0,905885464	0,256461193	0,283105539
3,97	0,906015016	0,255913693	0,282460763
3,98	0,906144369	0,255368708	0,281819008
3,99	0,906273523	0,254826218	0,281180253
4,00	0,906402477	0,254286207	0,280544475

ПРИЛОЖЕНИЕ Г
(обязательное)

Критерии согласия теоретических законов распределения с эмпирическими данными

Таблица Д.1 – Значения $a^* = \psi(W)$ (критерий Мизеса W)

$$W = -n - 2 \sum_{j=1}^n \left[\frac{2j-1}{2n} \ln(F(t_j)) + \left(1 - \frac{2j-1}{2n} \right) \ln(1 - F(t_j)) \right].$$

W	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,07	0,08	0,09
0,0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
0,1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,002	0,003	0,005
0,2	0,007	0,010	0,013	0,016	0,020	0,025	0,030	0,035	0,041	0,048
0,3	0,055	0,062	0,070	0,078	0,086	0,095	0,104	0,111	0,122	0,132
0,4	0,141	0,151	0,161	0,171	0,181	0,192	0,202	0,212	0,222	0,233
0,5	0,243	0,253	0,263	0,274	0,284	0,294	0,304	0,313	0,323	0,333
0,6	0,343	0,352	0,361	0,371	0,380	0,389	0,398	0,407	0,416	0,424
0,7	0,433	0,441	0,449	0,458	0,466	0,474	0,482	0,489	0,497	0,504
0,8	0,512	0,519	0,526	0,533	0,540	0,547	0,554	0,560	0,567	0,573
0,9	0,580	0,586	0,592	0,598	0,604	0,610	0,615	0,621	0,627	0,632
1,0	0,637	0,643	0,648	0,653	0,658	0,663	0,668	0,673	0,677	0,682
1,1	0,687	0,691	0,696	0,700	0,704	0,709	0,713	0,717	0,721	0,725
1,2	0,729	0,732	0,736	0,740	0,744	0,747	0,751	0,754	0,758	0,761
1,3	0,764	0,768	0,771	0,774	0,777	0,780	0,783	0,786	0,789	0,792
1,4	0,795	0,798	0,800	0,803	0,806	0,809	0,811	0,814	0,816	0,819
1,5	0,821	0,824	0,826	0,828	0,831	0,833	0,835	0,837	0,839	0,842
1,6	0,844	0,846	0,848	0,850	0,852	0,854	0,856	0,858	0,859	0,861
1,7	0,863	0,865	0,867	0,868	0,870	0,872	0,873	0,875	0,877	0,878
1,8	0,880	0,881	0,883	0,884	0,886	0,887	0,889	0,890	0,892	0,893
1,9	0,894	0,896	0,897	0,898	0,900	0,901	0,902	0,903	0,905	0,906
2,0	0,907	0,908	0,909	0,910	0,912	0,913	0,914	0,915	0,916	0,917
2,1	0,918	0,919	0,920	0,921	0,922	0,923	0,924	0,925	0,926	0,927
2,2	0,928	0,929	0,929	0,930	0,931	0,932	0,933	0,934	0,934	0,935
2,3	0,936	0,937	0,938	0,938	0,939	0,940	0,941	0,941	0,942	0,943
2,4	0,943	0,944	0,945	0,945	0,946	0,947	0,947	0,948	0,949	0,949

Таблица Д.2 – Значения параметра λ^* (критерий Колмогорова)

γ	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70	0,80	0,90	0,95	0,98	0,99
λ^*	0,44	0,52	0,57	0,61	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,97	1,07	1,22	1,36	1,52	1,63