

**Задание для контрольной работы по дисциплине  
«Основы теории надежности в автомобилестроении»  
спец. 23.03.03**

В процессе изучения дисциплины «Основы теории надежности в автомобилестроении» студент должен выполнить одну контрольную работу, которая состоит из ответов на четыре теоретических вопросов и решения задачи. Номера теоретических вопросов выбираются из таб. 1 в соответствии с предпоследней цифрой шифра зачетной книжки. Варианты заданий для решения задачи выбираются из табл.2 в соответствии с суммой последних двух цифр шифра зачетной книжки.

Таблица 1. Варианты теоретических вопросов

Номера вариантов	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Номера вопросов	11	37	3	27	5	19	7	25	9	13
	21	18	13	12	15	26	17	33	19	24
	31	11	23	17	25	34	27	43	29	32
	41	28	33	38	35	40	37	39	39	42

**Контрольные вопросы**

1. Какова связь надежности с этапами проектирования, изготовления и эксплуатации машин?
2. Какие этапы можно выделить в развитии теории надежности?
3. Каким образом можно оценить уровень надежности изделия с экономических позиций?
4. Что такое отказ? Каким образом классифицируются отказы?
5. Какова схема возникновения отказа?
6. Что такое надежность? Какими свойствами можно характеризовать надежность?
7. Какова схема связей надежности, ее свойств и этапов эксплуатации машины?
8. Какие виды событий Вам известны?
9. Что такое случайная величина? Какими могут быть случайные величины?
10. Докажите теорему сложения вероятностей.
11. Докажите теорему умножения вероятностей.
12. Что такое закон распределения случайной величины?
13. Что такое функция распределения и каковы ее свойства?
14. Что такое плотность вероятности и каковы ее свойства?
15. Как определяются математическое ожидание и среднее квадратичное отклонение случайной величины?

16. Что такое вероятность безотказной работы и вероятность отказа? Их взаимосвязь и закономерности изменения.
17. Что такое интенсивность отказов? Вывод зависимости.
18. Что такое среднее время безотказной работы? Вывод.
19. Что такое частота отказов? Вывод зависимости.
20. Какова взаимосвязь между вероятностью безотказной работы и интенсивностью отказов?
21. Какова взаимосвязь между плотностью вероятности и интенсивностью отказов?
22. Какова взаимосвязь между вероятностью безотказной работы и средним временем?
23. Типичные распределения отказов. Этапы эксплуатации; в чем причина изменения частоты отказов?
24. Показатели безотказности в период нормальной эксплуатации. График изменения показателей.
25. Показатели безотказности в период износа. Графики изменения показателей.
26. Какова схема основного соединения? Безотказность при таком соединении.
27. Какова схема резервного соединения? Безотказность при резервном соединении.
28. Схема частного резервирования и безотказность работы изделия при таком резервировании.
29. Схема общего резервирования. Безотказность при общем резервировании.
30. Каким образом строится график потока отказов? Свойства потока. Нарботка на отказ.
31. Какими показателями характеризуется безотказность восстанавливаемых изделий?
32. Каким образом строится график потока восстановлений? Свойства потока.
33. Среднее время восстановления изделия.
34. Коэффициенты технического использования и готовности. Каким образом они рассчитываются и что характеризуют?
35. Перечислите и охарактеризуйте аспекты долговечности.
36. Как рассчитывается и что характеризует коэффициент долговечности?
37. Что такое гамма-процентный ресурс? Как используется график изменения вероятности безотказной работы для определения ресурса?
38. В чем заключаются конструктивные методы надежности, закладываемой в изделие?
39. В чем заключаются технологические методы обеспечения надежности?

*40. Охарактеризуйте мероприятия, влияющие на работоспособность изделия. Перечислите и дайте характеристику различным видам технических обслуживаний.*

*41. Каким образом формируется содержание периодического (текущего) ремонта? Варианты.*

*42. Что такое номенклатура запасных частей? Как она формируется?*

*43. Каким образом определяется расход запасных частей? Варианты расчетов.*

При решении задачи необходимо, используя наработки до отказов, приведенные в вариантах, рассчитать и построить:

- среднюю арифметическую и среднеквадратичное отклонение наработки до отказа;
- вероятность безотказной работы и вероятность отказов;
- плотность вероятности наработки на отказ (частоту отказов);
- построить полигон и гистограмму распределения;
- построить график изменения вероятностей безотказной работы и отказов;
- построить график плотности вероятности.



Таблица 2. Варианты наработок до отказа

Вариант	Наработки до отказа, ч
1	149 276 358 447 761 799 901 935 964 1143 1043 1195 1234 1262 1341 1341 1319 1443 1452 1475 1505 1503 1527 1548 1626 1631 1646 1653 1682 1758 1777 1778 1809 1814 1887 1900 1946 1952 1998 2042 2071 2086 2211 2234 2238 2269 2369 2316 2337 2393 2409 2417 2465 2467 2549 2594 2592 2594 2602 2674 2741 2875 2977 3459 3546
2	53 193 643 653 746 791 913 915 980 989 991 1031 1142 1146 1232 1232 1395 1311 1329 1395 1484 1501 1519 1552 1551 1563 1654 1653 1727 1817 1842 1878 1893 1908 1936 1965 2010 2018 2020 2080 2081 2083 2111 2173 2187 2200 2211 2268 2280 2288 2306 2453 2541 2549 2568 2598 2624 2691 2766 2905 2979 3118 3243 3408 3586
3	188 690 705 836 1008 1096 1115 1129 922 1208 1232 1247 1251 1283 1331 1387 1412 1531 1569 1590 1594 1604 1620 1630 1632 1657 1690 1720 1752 1828 1875 1877 2003 1882 1972 1979 1991 2059 2078 2102 2139 2186 2280 2333 2354 2433 2535 2582 2583 2634 2666 2684 2707 2727 2809 2888 3206 3237 3288 3396
4	96 378 586 595 607 662 763 836 929 977 991 1033 1043 1144 1195 1221 1277 1336 1371 1356 1421 1501 1506 1552 1590 1636 1676 1682 1690 1729 1767 1835 1860 1863 1893 1901 1916 1972 1988 2004 2019 2062 2086 2115 2145 2156 2284 2283 2286 2295 2299 2453 2490 2511 2571 2644 2790 2927 2998 3343
5	26 134 418 485 957 1067 1101 1134 1281 1299 1330 1341 1396 1441 1469 1520 1526 1536 1630 1683 1686 1702 1721 1733 1746 1820 1822 1833 1840 1845 1890 1903 1913 1939 2056 2058 2087 2119 2130 2140 2184 2191 2245 2254 2257 2384 2402 2425 2488 2492 2541 2646 2701 2788 2843 2947 3070 3178 3408 3553
6	141 212 385 461 678 770 843 897 909 955 968 986 1047 1090 1241 1215 1255 1351 1358 1391 1423 1471 1500 1517 1533 1547 1656 1622 1708 1721 1738 1739 1757 1759 1783 1816 1830 1852 1859 1907 1918 1970 1970 1991 2098 2106 2208 2213 2229 2241 2269 2341 2464 2497 2546 2609 3054 3225 3484 3594
7	219 301 445 460 607 678 726 753 763 1007 1023 1032 1081 1114 1129 1136 1140 1175 1225 1304 1308 1339 1346 1346 1369 1389 1464 1477 1496 1515 1538 1601 1604 1659 1662 1695 1756 1793 1836 1915 1931 1934 2020 2026 2029 2042 2052 2067 2120 2116 2207 2215 2302 2307 2330 2551 2616 2685 2709 3079 3169 3598
8	242 457319 683 1082 1083 1100 1219 1243 1283 1330 1406 1443 1452 1508 1609 1661 1678 1688 1578 1752 1753 1767 1788 1833 1909 1955 1958 1972 1973 1984 1996 2004 2066 2136 2155 2162 2211 2218 2221 2221 2273 2353 2367 2395 2410 2417 2447 2462 2479 2493 2558 2644 2694 2646 2705 2760 2897 2932 3017 3055 3096 3362
9	117 184 418 481 612 705 707 754 873 881 902 938 1139 1202 1281 1284 1299 1330 1340 1381 1395 1466 1490 1502 1518 1520 1524 1525 1536 1568 1638 1691 1716 1733 1765 1780 1813 1844 2130 1888 1903 1813 1925 1988 2000 2002 2058 2087 2118 2140 2153 2191 2151 2260 2322 2329 2577 2688 2874 2906 3070 3243

## Указания по решению задачи

Решение задачи выполняется в следующей последовательности.

а). Определяется диапазон наработки по зависимости

$$R = t_{\max} - t_{\min},$$

где  $t_{\max}$  и  $t_{\min}$  – соответственно максимальная и минимальная наработки до отказов, ч.

б). Определяется величина интервала, необходимая для разбивки диапазона наработки

$$\Delta t = \frac{R}{1 + 3,3 \cdot \lg N_0},$$

где  $N_0$  – количество изделий, находившихся под наблюдением (количество отказов в выборке).

в). Используя интервал  $\Delta t$ , определяем количество интервалов и их границы. Для уменьшения объемов расчетов рекомендуется перевести наработки до отказов из размерности «часы» в размерность «сотни часов».

г). Используя границы интервалов, определяется число отказов, попадающий в каждый интервал.

д). Определяется среднее арифметическое значение (математическое ожидание) наработок до отказа по зависимости [3]

$$t_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^k \frac{t_i - a}{\Delta t} \cdot n_i}{N_0} \cdot \Delta t + a,$$

где  $k$  – число интервалов;

$t_i$  – середина интервала;

$n_i$  – число отказов, попавших в интервал;

$a$  – приблизительная середина вариационного ряда.

е). Определяется среднеквадратичное отклонение  $\sigma$  наработок до отказа от их средней величины. Для этого вначале определяется дисперсия распределения

$$D = \frac{\sum_{i=1}^k \left( \frac{t_i - a}{\Delta t} \right)^2 \cdot n_i}{N_0} \cdot \Delta t^2 - (t_{cp} - a)^2,$$

а затем среднеквадратичное отклонение по зависимости  $\sigma = \sqrt{D}$ .

ж). Рассчитывается частота отказов применительно к каждому интервалу.

Под частотой отказов на каждом интервале понимают отношение числа отказов, происшедших в единицу времени, к общему числу испытываемых изделий

$$\bar{f}_i(t) = \frac{n_i}{\Delta t \cdot N_0};$$

где  $n$  – число отказов, происшедших на каждом интервале.

Проведем некоторые преобразования этого выражения

$$\bar{f}(t) = \frac{n}{N_0} \cdot \frac{1}{\Delta t} = \frac{\Delta \bar{Q}(t)}{\Delta t}.$$

Но известно, что

$$\frac{\Delta \bar{Q}(t)}{\Delta t} = 1 - \frac{\Delta \bar{P}(t)}{\Delta t}.$$

Тогда

$$\bar{f}(t) = \frac{1 - \Delta \bar{P}(t)}{\Delta t}.$$

Переходя к пределу, получим

$$\bar{f}(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{1 - \Delta \bar{P}(t)}{\Delta t} = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \bar{P}(t)}{\Delta t} = - \frac{dP(t)}{dt}.$$

Отношение  $-dP(t)/dt$  является плотностью вероятности отказов на отрезке времени  $t$  и для нормального закона представляется выражением

$$f(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2 \cdot \sigma^2}}. \quad (1)$$

Для уменьшения объемов расчетов, упростим выражение плотности вероятности, введя в него численные значения  $\sigma$ .

з). Рассчитываются вероятность безотказной работы  $P(t)$  и вероятность отказов  $Q(t)$ .

Вероятность безотказной работы – это вероятность того, что изделие не откажет в течение заданного промежутка времени  $t$  в заданных условиях эксплуатации. Вероятность безотказной работы определяется через плотность вероятности как

$$P(t) = \int_t^{+\infty} f(t) dt.$$

Вероятность отказа – это событие противоположное вероятности безотказной работы и определяется как

$$Q(t) = \int_{-\infty}^t f(t) dt.$$

Поскольку  $Q(t)$  и  $P(t)$  события противоположные и составляют полную группу событий, то

$$P(t) + Q(t) = 1.$$



Используя приведенные выше зависимости, можно записать

$$Q(t) = \frac{1}{\sigma \cdot \sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^t e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2 \cdot \sigma^2}} dt \quad (2)$$

Для упрощения этого выражения введем замену переменной  $(t_i - t_{cp}) = z_0$ . Тогда зависимость (2), с учетом замены, примет вид

$$Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^{z_0} e^{-\frac{z_0^2}{2}} \cdot dz_0.$$

Этот интеграл представляем в виде суммы двух интегралов

$$Q(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{z_0^2}{2}} \cdot dz_0 + \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{z_0} e^{-\frac{z_0^2}{2}} \cdot dz_0.$$

Первое слагаемое всегда равно 0,5, т.е.

$$\frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_{-\infty}^0 e^{-\frac{z_0^2}{2}} \cdot dz_0 = 0,5.$$

Второе слагаемое, интеграл Лапласа, определяется по специальным таблицам и обычно обозначается как  $\Phi(z_0)$ , т.е.

$$\Phi(z_0) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \cdot \int_0^{z_0} e^{-\frac{z_0^2}{2}} \cdot dz_0.$$

Таким образом, вероятность отказа за промежуток времени  $t$  с учетом нечетности функции  $\Phi(z_0)$ , выразится следующим образом

$$Q(t) = 0,5 \pm \Phi(z_0).$$

При решении задачи рекомендуется все расчеты выполнять в табличной форме.

Результаты расчетов по определению плотности вероятности  $f(t)$ , вероятности безотказной работы  $P(t)$  и вероятности отказов  $Q(t)$  необходимо нанести на графики.

#### 4. Пример решения задачи

Установлено, что изделие до отказов наработывало следующее количество часов:

350 870 805 455 210 465 683 567 648 773 753 417 689 338 824 987 511 574  
57 320 395 748 860 479 667 668 483 847 687 599 770 740 448 410 853 551 659  
588 575 695 605 630 538 720 476 571 713 615 571 775 493 525 625 896 663 671  
797 660 637 673 728 583 672 569 558 675 521 566 750 540 798 768 751 456.

Общее количество отказов  $N_0 = 74$ .

а). Диапазон наработки составит

$$R = 987 - 57 = 930 \text{ ч.}$$

б). Величина интервала

$$\Delta t = \frac{930}{1 + 3,3 \cdot \lg 74} \approx 130 \text{ ч.}$$

Дальнейшие расчеты выполнены в табличной форме (табл. 3).

Таблица 3. Обработка вариационного ряда

Граница интервалов $A_i \quad \beta_i$	Число отказов $n_i$	Середина интервала $t_i$	$t_i - a$	$\frac{t_i - a}{\Delta t}$	$\frac{t_i - a}{\Delta t} \cdot n_i$	$(\frac{t_i - a}{\Delta t})^2$	$(\frac{t_i - a}{\Delta t})^2 \cdot n_i$
	2	3	4	5	6	7	8
0-1,3	2	0,65	-5,2	-4,0	-8,0	16,0	32,0
1,3-2,6	0	1,95	-3,9	-3,0	-0,0	9,0	0,0
2,6-3,9	4	3,25	-2,6	-2,0	-8,0	4,0	16,0
3,9-5,2	12	4,55	-1,3	-1,0	-12,0	1,0	12,0
5,2-6,5	21	5,85	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6,5-7,8	25	7,15	1,3	1,0	25,0	1,0	25,0
7,8-9,1	9	8,45	2,6	2,0	10,0	4,0	36,0
9,1-10,4	1	9,75	3,9	3,0	3,0	9,0	9,0
ИТОГО:	74				+18,0		130,0

д). Определим среднее арифметическое значение наработки до отказа

$$t_{cp} = \frac{18}{74} \cdot 1,3 + 5,85 = 6,166 \text{ сот. ч}$$

или в реальном масштабе  $t_{cp} = 616,6 \text{ ч.}$

е). Определим среднеквадратичное отклонение

$$D = \frac{130}{74} \cdot (1,3)^2 - (6,166 - 5,85)^2 = 2,87.$$

Тогда  $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{2,87} = 1,694 \text{ сотен ч}$  или в реальном масштабе  $\sigma = 169,4 \text{ ч.}$

ж). Расчет по определению плотности вероятности выполнен в табличной форме

Таблица 4. Расчет плотности вероятностей

Граница интервалов $\alpha_i \quad \beta_i$	Середина интервала $t_i$	$t_i - t_{cp}$	$(t_i - t_{cp})^2$	$0,1742 \cdot (t_i - t_{cp})^2$	$e^{-0,1742 \cdot (t_i - t_{cp})^2}$	$f(t)$
1	2	3	4	5	6	7
0,0-1,3	0,65	-5,516	30,4263	5,3003	200,3969	0,0013
1,3-2,6	1,95	-4,216	17,7747	3,0964	22,1182	0,0115
2,6-3,9	3,25	-2,929	8,5031	1,4812	4,3982	0,0577
3,9-5,2	4,55	-1,616	2,6115	0,4549	1,5760	0,1609
5,2-6,5	5,85	-0,316	0,0999	0,0174	1,0176	0,2492
6,5-7,8	7,15	0,984	0,9769	0,1702	1,1855	0,2139
7,8-9,1	8,45	2,284	5,2167	0,9888	2,6880	0,0943
9,1-10,4	9,75	3,584	12,8451	2,2376	9,3708	0,0271



Для расчетов граф 5 и 6 табл. 4, введем численное значение  $\sigma$  в выражение плотности вероятности (1):

$$f(t) = \frac{1}{1,694\sqrt{2 \cdot 3,14}} \cdot e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2 \cdot (1,694)^2}} =$$

$$= 0,2536 \cdot e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{5,7393}} = 0,2536 \cdot e^{-(t_i - t_{cp})^2 \cdot 0,1742} =$$

$$= \frac{0,2536}{e^{0,1742 \cdot (t_i - t_{cp})^2}}.$$

По данным графы 7 строится график плотности вероятности (рис. 1).

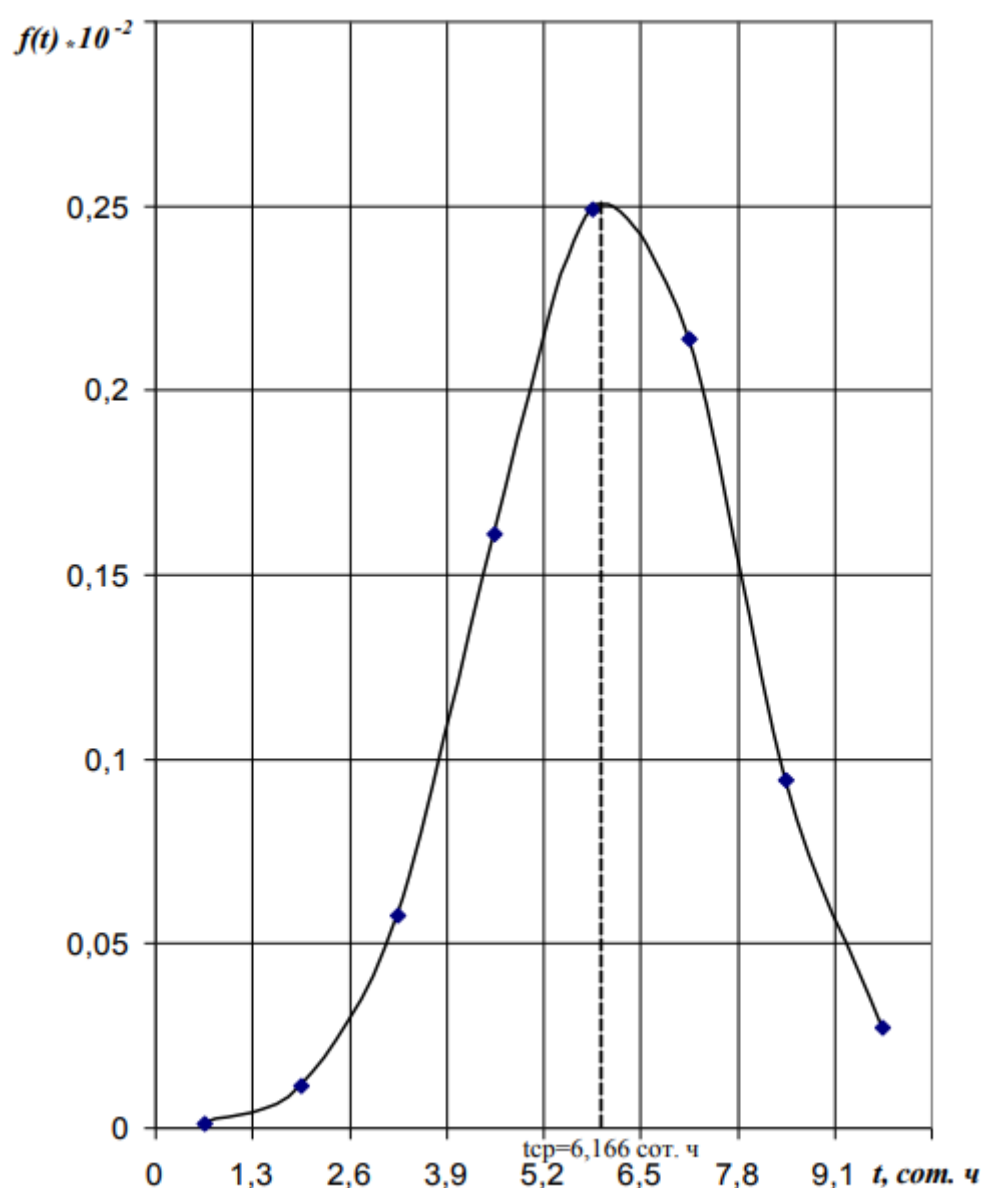


Рис.1. График плотности вероятностей

з). Расчет по определению величин вероятностей безотказной работы и отказов выполнены в табличной форме (табл. 5).

Таблица 5. Расчет вероятностей безотказной работы

Границы интервалов $\alpha_i$ $\beta_i$	Середина интервала $t_i$	$t_i - t_{cp}$	$z_0 = \frac{t_i - t_{cp}}{\sigma}$	$\Phi(z_0)$	$Q(t) = 0,5 + \Phi(z_0)$	$P(t) = 1 - Q(t)$
0,0 – 1,3	0,65	- 5,516	- 3,2562	- 0,4998	0,0002	0,9998
1,3 – 2,6	1,95	- 4,216	- 2,4888	- 0,4936	0,0064	0,9936
2,6 – 3,9	3,25	- 2,916	- 1,7214	- 0,4573	0,0427	0,9573
3,9 – 5,2	4,55	- 1,616	- 0,9540	- 0,3290	0,1710	0,8290
5,2 – 6,5	5,85	- 0,316	- 0,1865	- 0,0714	0,4286	0,5714
6,5 – 7,8	7,15	0,984	0,5809	0,2191	0,7191	0,2809
7,8 – 9,1	8,45	2,284	1,3483	0,4115	0,9115	0,0885
9,1 – 10,4	9,75	3,584	2,1157	0,4830	0,9830	0,0170

