

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
«Тихоокеанский государственный университет»

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ МАШИН

Методические указания и задания на контрольную работу по дисциплине «Основы теории надёжности машин» для студентов заочной, заочной ускоренной и дистанционной форм обучения по специальности 190205.65 «Подъемно-транспортные, строительные, дорожные машины и оборудование»

Основы теории надежности машин: Методические указания и задания на контрольную работу по дисциплине «Надежность строительных и дорожных машин» для студентов заочной, заочной ускоренной и дистанционной форм обучения по специальности 190205.65./ Сост. А.Р. Райт. – Хабаровск: ХГТУ, кафедра СДМ, 2003. - 19 с.

Указания и задания разработаны применительно к учебным планам специальности 190205.65 по изучению дисциплины «Основы теории надежности машин». Приведены методические рекомендации и выделены вопросы по разделам дисциплины. Разработаны варианты исходных данных для решения задачи в контрольной работе. Рассмотрен пример решения задачи.

Методические указания обсуждены и утверждены на заседании кафедры «Строительные и дорожные машины»

“ ___ ” _____

Заведующий кафедрой профессор _____ (С.Н. Иванченко)

Одобрено учебно-методической комиссией специальности 170900

“ ___ ” _____

Председатель УМКС _____

1. Методические указания по разделам дисциплины

Общие положения

Изучение дисциплины предусматривает в первую очередь необходимость уяснения роли надежности машин на стадиях их конструирования, изготовления и эксплуатации. Необходимо уяснить этапы развития науки о надежности машин и способ экономической оценки уровня надежности.

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?*

Основные понятия надежности

Изучая материал данного раздела, следует уяснить понятие «отказ» и его связь с надежностью. Кроме того, необходимо обратить внимание на связь надежности с ее свойствами.

Контрольные вопросы

- 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?*

Некоторые положения теории вероятностей

Приступая к ответам на контрольные вопросы по этому разделу, необходимо восстановить знания, полученные ранее при изучении дисциплины «Теория вероятностей».

Контрольные вопросы

- 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?*

Показатели надежности

Этот раздел является основным с точки зрения математического обеспечения теории надежности. Поэтому, изучая его, нужно хорошо представлять, какими показателями может характеризоваться надежность и какова ее связь с этими показателями и связь показателей между собой.

Контрольные вопросы

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.*

Надежность сложных невосстанавливаемых изделий

В первую очередь необходимо уяснить какие соединения элементов основными и резервными. Дополнительно необходимо изучить структурные схемы надежности при частном и общем резервировании.

Контрольные вопросы

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.*

Надежность восстанавливаемых изделий

Изучая данный раздел, необходимо понять различие между восстанавливаемыми и невосстанавливаемыми изделиями. Необходимо обратить внимание и на разницу в определении показателей безотказности.

Контрольные вопросы.

30. Каким образом строится график потока отказов? Свойства потока. Нарботка на отказ.

31. Какими показателями характеризуется безотказность восстановливаемых изделий?

Ремонтопригодность изделий

Необходимо уяснить, от чего зависит свойство ремонтпригодности. Какими показателями может быть охарактеризована ремонтпригодность и каким образом определяются эти показатели.

Контрольные вопросы

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?

Долговечность изделий

Необходимо обратить внимание на отличие долговечности от безотказности. Какими показателями характеризуется долговечность. Разобраться в аспектах долговечности изделия.

Контрольные вопросы

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?

Обеспечение надежности в производстве

Изучая этот раздел, необходимо уяснить, что при конструировании закладывается, а при изготовлении обеспечивается надежность изделия. Поэтому необходимо различать, за счет каких мероприятий это может быть достигнуто.

Контрольные вопросы

38. В чем заключаются конструктивные методы надежности, закладываемой в изделие?

39. В чем заключаются технологические методы обеспечения надежности?

Реализация надежности в эксплуатации

В эксплуатации надежность изделия может быть реализована полностью или частично. Следовательно, необходимо уяснить, от чего будет зависеть степень реализации надежности в условиях эксплуатации.

Контрольные вопросы

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

Ремонт машин

Ввиду того, что за срок службы каждое сложное изделие подвергается различным видам ремонтов, необходимо разобраться, какие объемы ремонтных работ выполняются при различных видах ремонтов и какова периодичность их выполнения.

Контрольные вопросы

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

Обеспечение запасными частями

Поскольку в условиях эксплуатации ремонт выполняется с использованием готовых элементов (запасных частей), важное значение приобретает определение необходимого количества таких элементов.

Контрольные вопросы

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

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

2. Задание для контрольной работы

В процессе изучения дисциплины «Основы теории надёжности машин» студент должен выполнить одну контрольную работу, которая состоит из ответов на четыре теоретических вопроса и решения задачи.

Номера теоретических вопросов выбираются из таб. 1 и табл.2 в соответствии с предпоследней цифрой шифра.

Варианты заданий для решения задачи выбираются из табл.3 в соответствии с суммой последних двух цифр шифра.

Таблица 1. Варианты теоретических вопросов для заочной, заочной ускоренной форм обучения.

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

Таблица 2. Номера теоретических вопросов для дистанционной формы обучения

Номера вариантов	0Д	1Д	2Д	3Д	4Д	5Д	6Д	7Д	8Д	9Д
Номера вопросов	16	2	15	4	8	6	14	8	9	10
	19	12	20	14	10	16	22	18	13	20
	36	22	35	24	21	26	30	28	23	30
	43	32	41	34	31	36	43	38	29	40

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 3. 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

Вариант	Наработки до отказа, ч
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
10	342 516 658 986 1158 1215 1269 1315 1329 1402 1415 1423 1424 1434 1501 1517 1617 1620 1622 1708 1719 1746 1739 1759 1946 1830 1830 1822 1831 1831 1839 1939 1941 1951 1970 1975 2050 2098 2106 2132 2208 2209 2213 2229 2264 2341 2341 2334 2449 2668 2412 2767 2771 2788 2806 2915 3118 3291 3306 3484
11	84 179 290 340 522 810 604 773 777 871 1160 938 948 1114 910 1079 964 1211 1489 1375 1274 1266 1445 1489 1309 1353 1259 1252 1713 1552 1629 1728 1704 1654 1642 1585 1709 1630 1756 1568 1924 2093 2005 1887 2017 1927 1901 1950 1908 1951 2066 1847 2132 2289 2382 2276 2138 2234 2263 2212 2166 2237 2211 2584 2696 2401 2533 2670 2695 2649 2570 2520 2621 2458 2787 2903 2931 2910 2536 2702 3161 3231 3114 3154 3264 3085 3204 3197 3346 3443

Вариант	Наработки до отказа, ч
12	421 791 695 1156 1153 1047 1293 1216 1324 1365 1229 1241 1439 1301 1351 1391 1630 1720 1596 1526 1688 1683 1789 1679 1687 1679 1687 1692 1757 1756 1998 1972 1947 2080 1950 2091 1882 1845 1913 1833 1877 1970 1852 1944 2277 2118 2348 2283 2379 2338 2145 2203 2259 2153 2642 2462 2438 2447 2529 2470 2430 2610 2631 2856 2910 2855 2976 2730 2753 2874 2708 3264 3317
13	26 350 307 881 606 777 1113 1181 1091 1107 1104 1215 1565 1797 1786 1794 1765 1688 1733 1723 1887 1831 2007 2041 1837 1885 18881983 1904 1903 2079 2184 2298 2254 2345 2380 2245 2140 2101 2119 2191 2260 2571 2428 2536 2431 2590 2492 2421 2401 2541 2457 2982 2837 2813 2850 2920 3140 3039 3204 3348 3545
14	23 405 485 853 629 888 654 796 1175 1116 1027 1086 1308 1346 1271 1265 1368 1247 1491 1281 1415 1798 1609 1549 1731 1752 1759 1739 1594 1907 1917 1990 2014 1856 2096 1975 1864 1864 1897 1858 1901 2196 2189 2149 2184 2180 2229 2108 2233 2157 2183 2129 2105 2686 2600 2686 2694 2547 2545 2531 2526 2645 2429 2408 2549 2736 2780 2945 2938 2770 2776 2920 3114 3284 3004 3101 3173 3465 3397 3402
15	117 152 140 485 499 462 368 399 798 694 849 838 877 603 715 931 1107 1070 1136 1108 900 958 912 971 1053 1190 1114 1301 1306 1311 1206 1219 1244 1219 1383 1453 1282 1346 1233 1557 1677 1581 1772 1581 1772 1789 1685 1634 185 1655 1786 1734 1009 2033 1915 1903 1992 2030 1981 1833 2151 2031 2178 2251 2159 2109 2266 2113 2102 2669 2638 2663 2648 2711 2820 2944 2744 2763 2714 3137 3144 3491
16	251 204 28 398 417 551 308 435 826 746 803 894 826 667 847 1041 1091 1156 1031 1163 971 1111 955 1150 1210 1212 1252 1496 1468 1442 1373 1360 1338 1223 1610 1672 1752 1691 1508 1611 1538 1615 1797 1732 1681 1505 1731 2071 2074 1945 1893 1857 1954 1991 1978 1885 1840 2094 1939 1847 1953 2194 2124 2256 2396 2141 3131 2174 2233 2311 2180 2321 2333 2664 2474 2531 2498 2598 2579 2518 2576 2511 2680 2564 2927 2853 2800 2818 2779 3064 3218 3007
17	76 378 461 887 778 830 749 842 1192 1104 1013 1088 1491 1496 1235 1343 1264 1275 1523 1613 1687 1706 1621 1790 1791 1599 1745 1694 1653 1629 1492 1581 1884 1808 1977 1975 1932 2049 2038 2091 2080 1844 2194 2342 2282 2129 2147 2397 2106 2209 2376 2433 2533 2530 2770 2778 2751 3190 3235 3176 3073 3438
18	748 645 604 1135 1079 1168 1124 1134 1186 1387 1330 1451 1406 1260 1455 1259 1207 1844 1535 1767 1657 1541 1530 1593 1747 1777 1766 1691 1601 2049 1896 1919 2040 1872 1802 1918 1923 1815 1842 2134 2108 2190 2255 2243 2140 2268 2451 2685 2476 2523 2419 2927 2726 2714 3159 3091 3471

Вариант	Наработки до отказа, ч
19	272 222 808 473 319 737 612 886 714 638 1111 1104 1142 1182 1100 1102 1118 1107 1197 1083 1457 1366 1444 1381 1234 1262 1274 1202 1243 1330 1452 1708 1688 1671 1588 1767 1655 1690 1753 1712 1609 1578 2090 1836 2020 1909 2032 1973 1924 1833 1889 2221 2395 2160 2136 2310 2346 2387 2577 2558 2641 2448 2694 2776 2759 2760 3199 3137 3463
20	55 256 23 461 438 321 524 497 849 801 832 876 606 898 617 1176 1173 1063 1033 1058 1114 1138 1164 1038 1184 1110 1018 1283 1243 1250 1412 1490 1335 1347 1404 1477 1458 1385 1462 1753 1613 1652 1671 1587 1728 1552 1798 1754 1704 1713 1922 1813 1850 1805 2087 2069 2083 1882 2280 2184 2145 2257 2144 2334 2343 2155 2106 2469 2548 2589 2596 2743 2755 2974 2747 2736 3281 3228

3. 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 Δt , 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 – приближительная середина вариационного ряда.

е). Определяется среднеквадратичное отклонение σ 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

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

Для уменьшения объемов расчетов, упростим выражение плотности вероятности, введя в него численные значения σ .

3). 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 набавывало 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	<u>5,85</u>	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 $\sigma = \sqrt{D} = \sqrt{2,87} = 1,694$ 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 $\alpha_i \beta_i$	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 σ в выражение плотности вероятности (1):

$$\begin{aligned}
 f(t) &= \frac{1}{1,694 \sqrt{2 \cdot 3,14}} \cdot e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{2 \cdot (1,694)^2}} = \\
 &= 0,2536 \cdot e^{-\frac{(t_i - t_{cp})^2}{5,7393}} = 0,2536 \cdot e^{-0,1742 \cdot (t_i - t_{cp})^2} = \\
 &= \frac{0,2536}{e^{0,1742 \cdot (t_i - t_{cp})^2}}.
 \end{aligned}$$

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

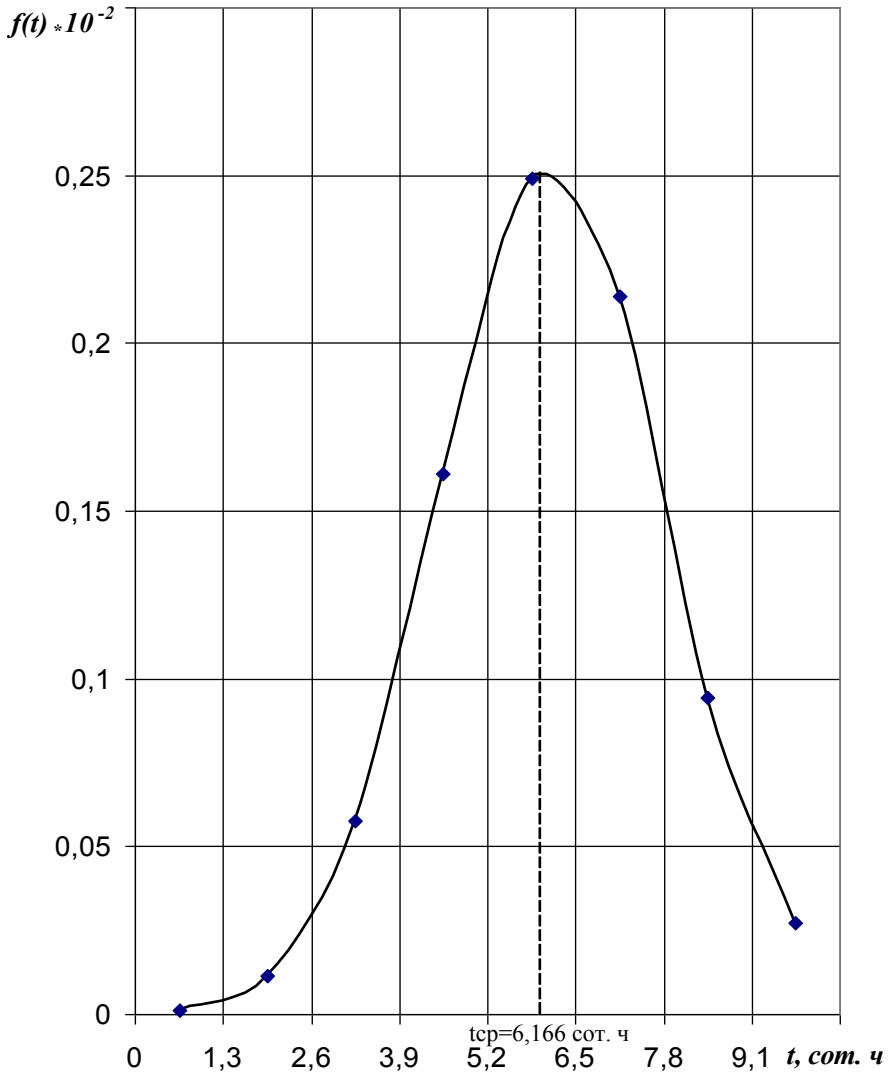


Рис.1. График плотности вероятностей

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

Таблица 5. Расчет вероятностей безотказной работы

Границы интервалов α_i β_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

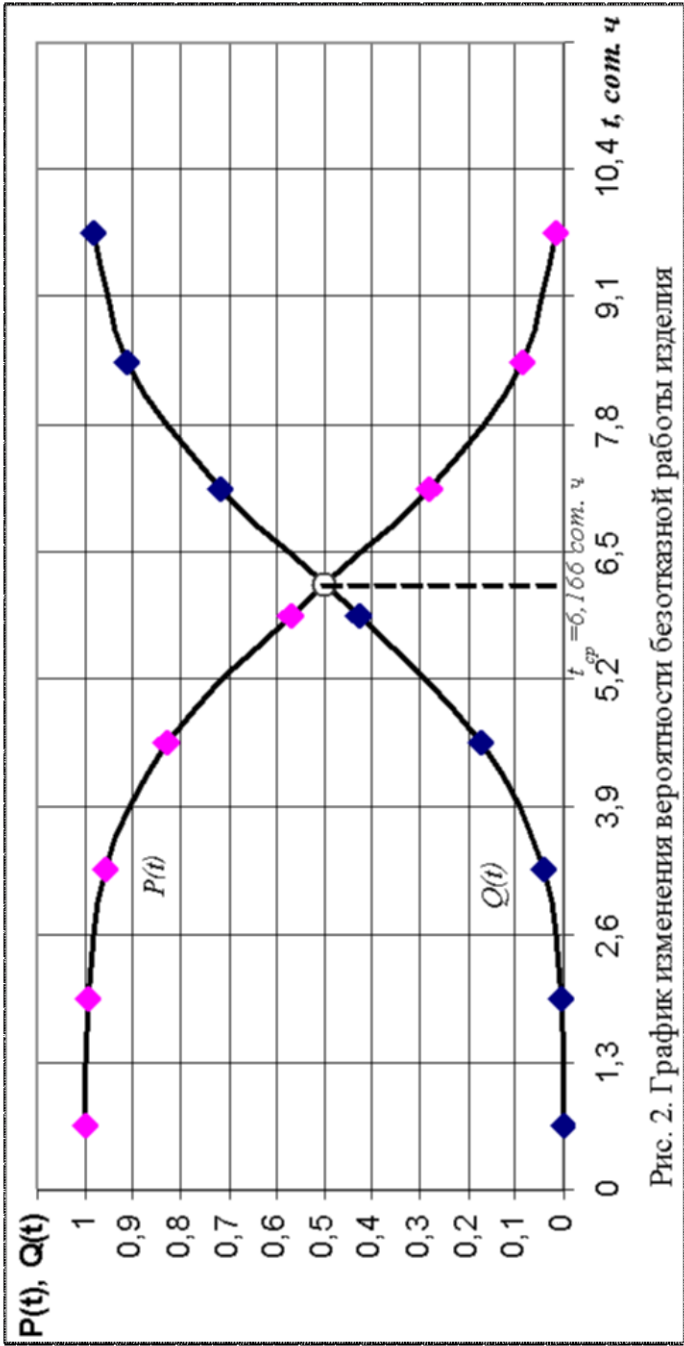


Рис. 2. График изменения вероятности безотказной работы изделия

4. Список рекомендуемой литературы

1. Волков Д.П., Николаев С.Н. Надежность строительных машин и оборудования. – М.: Высшая школа, 1979. – 400 с.
2. Гнеденко Б.В., Беляев Ю.К., Соловьев А.Д. Математические методы в теории надежности. – М.: Наука, 1965. – 516 с.
3. Карасев А.И. Основы математической статистики. – М.: Росвузиздат, 1962. – 198 с.
4. Проников А.С. Надежность машин. – М.: Машиностроение, 1978. – 575 с.
5. Федоров Д.П., Бондарович Б.А., Перепонов В.И. Надежность металлоконструкций землеройных машин. – М.: Машиностроение, 1971. – 216 с.
6. Хазов Б.Ф. Надежность строительных и дорожных машин. – М.: машиностроение, 1979. – 192 с.