

МИНИСТЕРСТВО
ТРАНСПОРТА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Новосибирская государственная академия
Водного транспорта

629.12
Д641

Г.А.Долгополов

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ**

Расчётно-графическая работа №2
по дисциплине «Надёжность и диагностика
речной техники»

Новосибирск 2006

УДК 629.12
ББК 68.9
Д 641

Долгополов Г.А. Определение показателей надёжности. Расчётно-графическая работа №2 по дисциплине «Надёжность и диагностика речной техники». – Новосибирск: НГАВТ, 2006. – 25 с.

Изложены задачи по определению показателей надёжности, приведены сведения из теории, даны методические указания по выполнению задач, рассмотрены примеры расчётов. Представлены вопросы для защиты работы.

Печатается по решению редакционно-издательского совета НГАВТ.

© Долгополов Г.А., 2006
© Новосибирская государственная
академия водного транспорта, 2006

Введение

Методические указания разработаны в соответствии с программой дисциплины «Надёжность и диагностика речной техники» для студентов специальности «Техническая эксплуатация судов и судового оборудования».

Выполнение расчётно-графической работы (РГР) №2 служит для закрепления теоретического материала раздела дисциплины по надёжности. Цель работы – освоение основных показателей надёжности, ознакомление с их расчётом по эксплуатационной информации и оценка полученных результатов.

Работа выполняется по варианту, назначаемому преподавателем, и в срок, согласованный с деканатом. Выполненная студентом РГР представляется преподавателю для проверки и последующей защиты по вопросам, приведённым в конце работы.

При выполнении работы рекомендуется пользоваться лекциями по дисциплине, литературой /1-3/ и компьютером. Оформление работы должно соответствовать ГОСТ 2.105-95 «Общие требования к текстовым документам».

1 Задача 1

В подконтрольной эксплуатации в течение наработки t находилось N насосов и из них отказали N_0 насосов. Чтобы до конца навигации насосы были достаточно работоспособны, вероятность их безотказной работы не должна быть меньше 0,6. Определить необходимое количество работоспособных насосов к концу навигации и её продолжительность, если появление отказов считать подчиняющимся экспоненциальному распределению. Сделать вывод о степени необходимости технического обслуживания (ТО) насосов. Данные для расчёта взять из таблиц 1 и 2 согласно своему варианту.

Таблица 1

| Обозначение | Первая цифра варианта | | | | | | | | | |
|---------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| $t, \text{ч}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 |

Таблица 2

| Обозначение | Вторая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| N | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 |
| N_0 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 | 9 | 10 | 10 | 10 |

2 Сведения из теории к задаче 1

Экспоненциальное распределение описывается формулой

$$P = \exp(-\lambda \cdot t), \quad (1)$$

где P – вероятность безотказной работы объекта, $0 \leq P \leq 1$;

t – время (наработка), ч;

λ – интенсивность отказов, 1/ч.

При экспоненциальном распределении $\lambda = \text{const}$.

Для небольших наработок, когда $\lambda \cdot t < 1$, экспоненциальное распределение с достаточной для практики точностью можно представить

$$P = 1 - \lambda \cdot t. \quad (2)$$

Вероятность безотказной работы определяется отношением

$$P = N_t / N, \quad (3)$$

где N – число объектов, находящихся под наблюдением;

N_t – число объектов, оказавшихся работоспособными по истечении наработки t .

$$N = N_t + N_o, \quad (4)$$

где N_o – число отказавших объектов.

3 Методические указания к задаче 1

Сначала надо определить показатели P и λ по результатам подконтрольной эксплуатации, то есть по истечении времени t . Затем, используя величину минимально допустимой вероятности безотказной работы $P_{\min} = 0,6$, определить по уравнению (3) количество работоспособных насосов к концу навигации $N_{\text{нав}}$ и из формулы (2) – продолжительность навигации $t_{\text{нав}}$.

4 Пример решения задачи 1

Допустим, задано: $N = 9$, $N_o = 7$ и $t = 700$ ч.

Вероятность безотказной работы в конце подконтрольной эксплуатации

$$P = (N - N_o)/N = (9 - 7)/9 = 0,22.$$

Интенсивность отказов

$$\lambda = (1 - P)/t = (1 - 0,22)/700 = 0,001 \text{ 1/ч}.$$

Необходимое количество работоспособных к концу навигации насосов

$$N_{\text{нав}} = P_{\min} \cdot N = 0,6 \cdot 9 \approx 5.$$

Продолжительность навигации, обеспеченная работающими насосами

$$t_{\text{нав}} = (1 - P_{\min})/\lambda = (1 - 0,6)/0,001 = 400 \text{ ч}.$$

Ответ: так как продолжительность навигации составляет обычно 3000÷5000 часов, то её продолжительность 400 часов очень мала; для продления навигации необходимо: а) уменьшить интенсивность отказов насосов путём улучшения ТО, б) увеличить количество запасных насосов.

5 Задача 2

На испытаниях находилось N распылителей форсунок (таблица 3) и в результате определено время безотказной работы каждого из них (таблица 4). Определить интенсивность отказов распылителей в функции наработки $\lambda(t)$. После этого считать форсунки восстанавливаемыми и определить параметр потока отказов в функции той же наработки $\omega(t)$. Обе функции сравнить, оценивая роль ТО.

Таблица 3

| Обозначение | Первая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|---|---|----|----|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| N | 8 | 7 | 6 | 10 | 10 | 9 | 8 | 7 | 6 | 9 |

Таблица 4 – Нарботки распылителей до отказа, час

| № | Вторая цифра варианта | | | | | | | | | |
|----|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 2000 | 2500 | 3000 | 3500 | 4000 | 1750 | 4100 | 2800 | 550 | 1100 |
| 2 | 2300 | 3500 | 650 | 3100 | 4200 | 2800 | 3550 | 2140 | 2580 | 2220 |
| 3 | 3500 | 2100 | 3300 | 2550 | 3150 | 4300 | 4350 | 3030 | 2090 | 4530 |
| 4 | 3000 | 4170 | 1200 | 4050 | 2900 | 3900 | 3200 | 4170 | 1610 | 2050 |
| 5 | 2030 | 4100 | 4940 | 2700 | 3400 | 3250 | 2570 | 2510 | 3230 | 3170 |
| 6 | 4750 | 1010 | 2100 | 4250 | 5000 | 2950 | 2600 | 3740 | 1050 | 2490 |
| 7 | 2140 | 3050 | 2450 | 3000 | 1400 | 3600 | 1140 | 3250 | 3120 | 2480 |
| 8 | 1200 | 1700 | 3050 | 3850 | 2570 | 4150 | 2950 | 1350 | 4350 | 3050 |
| 9 | 1050 | 4930 | 1950 | 2130 | 1930 | 1300 | 1920 | 1960 | 4890 | 1710 |
| 10 | 3230 | 840 | 940 | 1080 | 3920 | 990 | 3830 | 4690 | 970 | 4120 |

6 Сведения из теории к задаче 2

Интенсивность отказов λ является показателем надёжности восстанавливаемых объектов. По статистическим данным она определяется как отношение числа отказавших объектов в единицу наработки к числу работоспособных объектов к рассматриваемому моменту

$$\lambda_i = (\Delta n_i / \Delta t_i) / N_i, \quad (5)$$

где λ_i - интенсивность отказов в i - м интервале наработки;

Δn_i - число отказов в i - м интервале;

Δt_i - наработка в i - м интервале;

N_i - число работоспособных объектов к началу i - го интервала.

Параметр потока отказов ω является показателем надёжности восстанавливаемых объектов. Если объекты мгновенно восстанавливаются, то всегда $N_i = N$. Поэтому

$$\omega_i = (\Delta n_i / \Delta t_i) / N, \quad (6)$$

где N - общее число наблюдаемых объектов.

Из формул (5) и (6) следует, что $\omega(t) < \lambda(t)$ и, следовательно, восстанавливать объекты целесообразно для увеличения их работоспособного состояния.

Для нахождения зависимостей $\lambda(t)$ и $\omega(t)$ строятся временные диаграммы, гистограммы, полигоны и функции.

Временная диаграмма образуется в результате нанесения на графическую модель начала и окончания испытания каждого объекта (рисунок 1). Диаграмма разбивается на интервалы наработки Δt_i , средняя

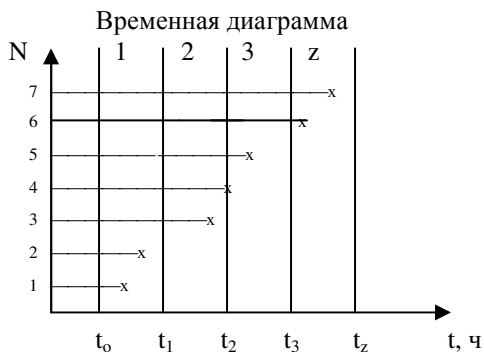


Рисунок 1

величина которых находится из формулы

$$\Delta t_i = (t_z - t_0) / (1 + 3,2 \lg n), \quad (7)$$

где t_0 – левая граница, выбираемая левее самого раннего отказа;

t_z – правая граница, выбираемая правее самого позднего отказа;

n – число отказов в испытаниях.

Чтобы не было интервалов без отказов, величина интервалов корректируется.

Расчёт ведётся в табличной форме (таблица 5).

Таблица 5 – Расчёт параметров в задаче 2

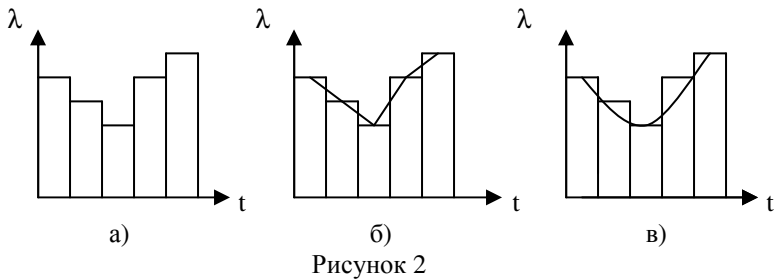
| Обозначение | Интервалы | | | |
|-------------------|-----------|---------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | z |
| Δt_i , ч | 150 | 150 | 150 | 150 |
| Δn_i | 2 | 1 | 2 | 2 |
| N_i | 7 | 5 | 4 | 2 |
| λ_i , 1/ч | 0,0019 | 0,0013 | 0,0033 | 0,0067 |
| ω_i , 1/ч | 0,0019 | 0,00095 | 0,0019 | 0,0019 |

По полученным табличным значениям λ_i и ω_i строятся:

-гистограмма, когда по оси абсцисс откладываются интервалы Δt_i , на которых строятся прямоугольники с ординатами λ_i или ω_i , рисунок 2а;

-полигон, когда середины верхних площадок соединяются ломаной линией, рисунок 2б;

-функция – плавная линия, проводимая через полигон без мелких выпуклостей и впадин, необъяснимых протекающим процессом, рисунок 2в.



7 Методические указания к задаче 2

Порядок выполнения задачи следующий:

- определяются величины t_0 и t_z ; учитывается, что $n = N$;
- по формуле (7) находится средняя величина интервала Δt_i ;
- по данным таблицы 4 строится временная диаграмма; вертикальные линии проводятся после горизонтальных с таким расчётом, чтобы в каждом интервале присутствовал хотя бы один отказ;
- составляется таблица 5 и в неё заносятся величины интервалов Δt_i согласно рисунку 1;
- заполняются вторая и третья строчки таблицы 5 из анализа рисунка 1;
- по формулам (5) и (6) подсчитываются λ_i и ω_i и их величины заносятся в таблицу 5;
- на одном рисунке (рисунок 3) строятся гистограммы, полигоны и функции для интенсивности отказов и параметра потока отказов;
- даётся ответ к задаче, в котором отмечается преимущество восстанавливаемых объектов.

8 Пример решения задачи 2

Допустим, на испытаниях находилось 7 клапанов и время безотказной работы каждого составило 350,420,590,679,850 и 890 часов.

Примем $t_0 = 300$ ч и $t_z = 900$ ч. Обозначим: n – число отказов клапанов; $n = 7$.

Средняя величина интервала

$$\Delta t_i = (900-300)/(1+3,2 \lg 7) \cong 150 \text{ ч.}$$

По этим данным строим временную диаграмму (рисунок 1). На оси абсцисс наносим точки $t_0 = 300$ ч, $t_1 = 450$ ч, $t_2 = 600$ ч, $t_3 = 750$ ч и $t_z = 900$ ч. На оси ординат отмечаем номера клапанов и проводим горизонталь-

Сравнение интенсивности отказов и параметра потока отказов

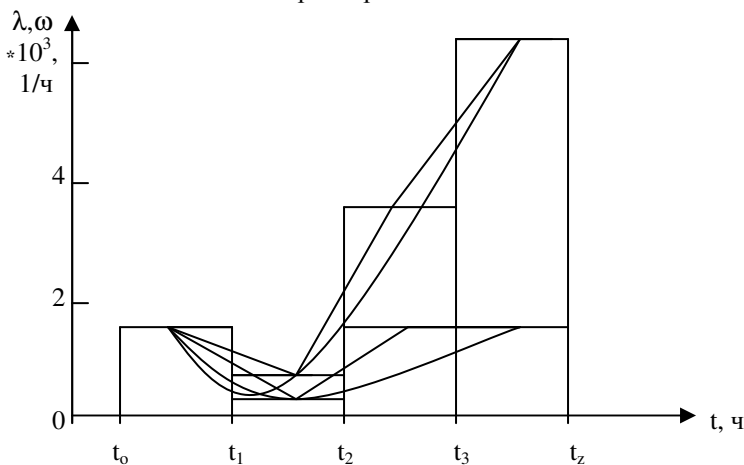


Рисунок 3

ные линии наработок клапанов, где крестик «x» означает отказ. Так как в каждом интервале имеются отказы, то корректировки интервалов не требуется; проводим вертикальные линии интервалов и обозначаем интервалы 1,2,3,z.

Заполняем первые три строчки таблицы 5. По формуле (5) находим интенсивности отказов; например, для первого интервала найдено

$$\lambda_1 = 2/(7 \cdot 150) = 0,0019 \text{ 1/ч.}$$

По формуле (6) находим параметры потока отказов. На рисунке 3 строим для λ и ω диаграммы полигоны и функции. Из рисунка видно, что отношение $\lambda(t)/\omega(t)$ с возрастанием наработки увеличивается от 0 до 3,5.

Ответ: при восстановлении клапанов влияние отказов уменьшается и после наработки 900 часов становится меньше в 3,5 раза, чем при невосстанавливаемых клапанах.

9 Задача 3

В двух дизелях теплохода в течение навигации 4000 часов происходили различные отказы (таблица 6). Форсунка второго цилиндра левого двигателя закоксувалась на t_{11} , t_{102} и t_{103} часах от начала навигации. Компрессионное кольцо первого цилиндра этого же двигателя треснуло на t_2 часу. Выпускные клапаны зависали: на первом цилиндре правого двигателя на t_{31} , t_{302} и t_{303} часах; на четвёртом цилиндре правого двигателя на t_4 часу; на втором цилиндре левого двигателя на t_{51} , t_{502} и t_{503} часах.

Таблица 6 – Время от начала испытаний до отказа, час

| Обозначение | Первая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| t_{11} | 1500 | 1200 | 1340 | 1450 | 1190 | 1150 | 1420 | 1170 | 1210 | 1400 |
| t_{102} | 2300 | 2150 | 2600 | 2770 | 2210 | 2320 | 2740 | 2250 | 2380 | 2690 |
| t_{103} | 3800 | 3870 | 3970 | 3850 | 3950 | 3210 | 3990 | 3650 | 3730 | 3880 |
| t_2 | 850 | 2010 | 3970 | 1050 | 260 | 2680 | 3140 | 2050 | 3050 | 280 |
| t_{31} | 50 | 85 | 415 | 120 | 710 | 560 | 1070 | 990 | 610 | 440 |
| t_{302} | 80 | 530 | 620 | 790 | 1290 | 750 | 2190 | 2090 | 860 | 1240 |
| t_{303} | 940 | 3330 | 810 | 3620 | 2250 | 1310 | 3880 | 2620 | 2990 | 2590 |
| t_4 | 720 | 890 | 1120 | 2010 | 300 | 550 | 510 | 900 | 1900 | 1720 |
| t_{51} | 630 | 910 | 140 | 490 | 150 | 490 | 550 | 940 | 200 | 350 |
| t_{502} | 1650 | 2660 | 1900 | 2100 | 1600 | 2670 | 2470 | 1730 | 1800 | 2010 |
| t_{503} | 3820 | 3100 | 2440 | 3620 | 2310 | 3710 | 3660 | 2440 | 3590 | 2630 |
| t_{61} | 100 | 350 | 200 | 1010 | 240 | 210 | 360 | 660 | 280 | 600 |
| t_{602} | 410 | 1440 | 1620 | 1920 | 670 | 1940 | 450 | 800 | 1770 | 1140 |
| t_{603} | 2260 | 2210 | 1960 | 2190 | 960 | 2310 | 1750 | 1400 | 2700 | 1200 |
| t_{604} | 2500 | 3800 | 2120 | 3090 | 1520 | 2940 | 1940 | 1970 | 2900 | 1540 |
| t_{605} | 2800 | 3970 | 3900 | 3490 | 3030 | 3570 | 3590 | 2980 | 3670 | 3770 |
| t_{71} | 290 | 490 | 930 | 270 | 200 | 490 | 390 | 370 | 360 | 910 |
| t_{702} | 1080 | 620 | 1340 | 660 | 1460 | 520 | 930 | 1500 | 1400 | 1000 |
| t_{703} | 2490 | 2090 | 1860 | 740 | 2230 | 1220 | 1350 | 1860 | 1990 | 1410 |
| t_{704} | 2880 | 2340 | 2720 | 2880 | 2750 | 2640 | 2660 | 2270 | 2120 | 1610 |
| t_{705} | 2910 | 3550 | 3440 | 3130 | 3290 | 2790 | 3010 | 2940 | 2360 | 2420 |
| t_{706} | 3300 | 3800 | 3610 | 3230 | 3810 | 3990 | 3330 | 3830 | 3120 | 3870 |

Топливные фильтры правого двигателя очищались на t_{61} , t_{602} , t_{603} , t_{604} и t_{605} часах. И соответственно для левого двигателя: t_{71} , t_{702} , t_{703} , t_{704} , t_{705} и t_{706} . Определить продолжительность безотказной наработки дизелей.

10 Сведения из теории к задаче 3

Безотказная наработка - это разница между средней наработкой на отказ и её среднеквадратичным отклонением

$$t_0 = T_0 - \sigma, \quad (8)$$

где t_0 – безотказная наработка;

T_0 – средняя наработка на отказ;

σ - среднеквадратичное отклонение наработки.

Из статистических данных средняя наработка на отказ определяется

$$T_o = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N t_{ji}}{\sum_{j=1}^N n_j}, \quad (9)$$

где N – число элементов;

j – номер элемента;

n – число отказов;

i – номер отказа;

n_j – число отказов j -го элемента;

t_{ji} – время безотказной работы j -го элемента между $(i - 1)$ -м и i -м отказами;

$\sum_{j=1}^N n_j$ – общее число отказов элементов;

$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N t_{ji}$ – суммарное время безотказной работы элементов.

Среднеквадратичное отклонение

$$\sigma = \left[\frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (t_{ji} - T_o)^2}{\sum_{j=1}^N n_j - 1} \right]^{\frac{1}{2}}. \quad (10)$$

11 Методические указания к задаче 3

Следует различать наработку на отказ и время от начала испытаний до отказа, так как эти величины совпадают только для первого отказа. Поэтому необходимо ввести обозначение t_{joi} – время работы j -го элемента от начала испытаний (об этом говорит индекс «0») до i -го отказа. Например, запись t_{203} означает для второго элемента момент времени третьего отказа, а запись t_{23} говорит о количестве наработки второго элемента до третьего отказа (точнее: между вторым и третьим отказами). Отсюда следует, что $t_{23} = t_{203} - t_{202}$.

Если у элемента произошёл только один отказ, то он никак не индексируется и запись t_j обозначает наработку до первого и единственного отказа у j -го элемента.

12 Пример определения безотказной наработки

Допустим, в дизеле 3Дб в течение навигации 4000 часов происходили следующие отказы:

-форсунка третьего цилиндра (обозначим её как элемент № 1) закоксовывалась на 500,1100 и 2900 часах от начала навигации;

-у форсунки пятого цилиндра (элемент № 2) зависла игла на 1200 часу и произошло закоксовывание на 3200 часу;

-компрессионное кольцо первого поршня (элемент № 3) треснуло на 3700 часу;

-из-за преждевременного износа заменили направляющую втулку выхлопного клапана пятого цилиндра (элемент № 4) в середине навигации;

-отказы системы воздушного пуска (элемент № 5) происходили в моменты времени 300,920,1130,1280 и 1320 ч от начала навигации;

-отказы регулятора числа оборотов (элемент № 6) происходили на 1540,1920,2010 и 3900 часах работы;

-вынужденные подрегулировки ТНВД производились: на первом цилиндре (элемент № 7) на 120,2030 и 3500 часах; на пятом цилиндре (элемент № 8) на 500,1050,2500 и 3150 часах; на шестом цилиндре (элемент № 9) – на 450 часу.

Следовательно, время безотказной работы элементов составляет: $t_{11} = 500$ ч, $t_{102} = 1100$ ч, $t_{103} = 2900$ ч, $t_{21} = 1200$ ч, $t_{202} = 3200$ ч, $t_3 = 3700$ ч, $t_4 = 4000/2 = 2000$ ч, $t_{51} = 300$ ч, $t_{502} = 920$ ч, $t_{503} = 1130$ ч, $t_{504} = 1280$ ч, $t_{505} = 1320$ ч, $t_{61} = 1540$ ч, $t_{602} = 1920$ ч, $t_{603} = 2010$ ч, $t_{604} = 3900$ ч, $t_{71} = 120$ ч, $t_{702} = 2030$ ч, $t_{703} = 3500$ ч, $t_{81} = 500$ ч, $t_{802} = 1050$ ч, $t_{803} = 2500$ ч, $t_{804} = 3100$ ч, $t_9 = 450$ ч. А общее число отказов дизеля равно

$$\sum_{j=1}^N n_j = 3+2+1+1+5+4+3+4+1 = 24.$$

Суммарное время безотказной работы элементов составляет

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N t_{ji} = t_{11}+t_{12}+t_{13}+t_{21}+t_{22}+t_3+t_4+t_{51}+t_{52}+t_{53}+t_{54}+t_{55}+t_{61}+t_{62}+t_{63}+t_{64}+t_{71}+t_{72}+t_{73}+t_{81}+t_{82}+t_{83}+t_{84}+t_9 = t_{11}+(t_{102}-t_{11})+(t_{103}-t_{102})+t_{21}+(t_{202}-t_{21})+t_3+t_4+t_{51}+(t_{502}-t_{51})+(t_{503}-t_{502})+(t_{504}-t_{503})+(t_{505}-t_{504})+t_{61}+(t_{602}-t_{61})+(t_{603}-t_{602})+(t_{604}-t_{603})+t_{71}+(t_{702}-t_{71})+(t_{703}-t_{702})+t_{81}+(t_{802}-t_{81})+(t_{803}-t_{802})+(t_{804}-t_{803})+t_9=500+(1100-500)+(2900-1100)+1200+(3200-1200)+3700+2000+300+(920-300)+(1130-920)+(1280-1130)+(1320-1280)+1540+(1920-1540)+(2010-1920)+(3900-2010)+120+(2030-120)+(3500-2030)+500+(1050-500)+(2500-1050)+(3100-2500)+450=24070 ч.$$

Согласно формуле (9) средняя наработка на отказ

$$T_0 = 24070/24 \approx 1000 \text{ ч.}$$

Для расчёта среднеквадратичного отклонения находим

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^N (t_{ji} - T_o)^2 = (t_{11} - T_o)^2 + (t_{12} - T_o)^2 + (t_{13} - T_o)^2 + (t_{21} - T_o)^2 + (t_{22} - T_o)^2 + \dots = (500 - 1000)^2 + (600 - 1000)^2 + (1800 - 1000)^2 + (1200 - 1000)^2 + (2000 - 1000)^2 + (3700 - 1000)^2 + (2000 - 1000)^2 + (300 - 1000)^2 + (620 - 1000)^2 + (210 - 1000)^2 + (150 - 1000)^2 + (40 - 1000)^2 + (1540 - 1000)^2 + (380 - 1000)^2 + (90 - 1000)^2 + (1890 - 1000)^2 + (120 - 1000)^2 + (1910 - 1000)^2 + (1470 - 1000)^2 + (500 - 1000)^2 + (550 - 1000)^2 + (1450 - 1000)^2 + (600 - 1000)^2 + (450 - 1000)^2 = 18519700.$$

Из формулы (10) следует

$$\sigma = \left(\frac{18519700}{24 - 1} \right)^{\frac{1}{2}} \cong 900 \text{ ч.}$$

В результате находим

$$t_o = T_o - \sigma = 1000 - 900 = 100 \text{ ч.}$$

Ответ: 100 часов безотказной наработки исследуемых дизелей говорят об их низкой надёжности.

13 Задача 4

В подконтрольной эксплуатации находились двигатели ДД03 и NVD24, у которых фиксировалось время восстановления работоспособного состояния после отказов (таблицы 6 и 7). Определить среднее время восстановления каждого типа двигателя и результаты сравнить.

14 Сведения из теории к задаче 4

Среднее время восстановления

$$T_b = \sum_{i=1}^n t_{bi} / n, \quad (11)$$

где t_{bi} – время восстановления после конкретного отказа.

Из этой формулы следует, что объект может иметь много отказов n , но быть ремонтпригодным при небольших периодах восстановлений t_{bi} .

15 Методические указания к задаче 4

После расчётов по формуле (11) необходимо сравнить для каждого типа двигателей отношение числа отказов n к среднему времени восста-

новления T_v и сделать выводы об их работоспособности и ремонтпригодности.

Таблица 7 – Время восстановления работоспособного состояния двигателей ДДОЗ, час

| № отказа | Первая цифра варианта | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 6 | 3 | 7 | 4 | 2 | 2 | 8 | 1 | 2 | 4 |
| 2 | 3 | 6 | 4 | 2 | 2 | 1 | 3 | 3 | 8 | 1 |
| 3 | 7 | 4 | 2 | 8 | 8 | 8 | 8 | 4 | 1 | 6 |
| 4 | 4 | 8 | 8 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 7 | 3 |
| 5 | 2 | 2 | 1 | 6 | 6 | 4 | 4 | 7 | 3 | 7 |
| 6 | 2 | 1 | 2 | 3 | 3 | 7 | 3 | 3 | 6 | 2 |
| 7 | 8 | 5 | 6 | 2 | 7 | 3 | 5 | 6 | 1 | 7 |
| 8 | 1 | 3 | 3 | 7 | 4 | 6 | 1 | 4 | 4 | 3 |

Таблица 8 – Время восстановления работоспособного состояния двигателей NVD24, час

| № отказа | Вторая цифра варианта | | | | | | | | | |
|----------|-----------------------|----|----|----|----|----|----|----|----|---|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 10 | 10 | 9 | 6 | 8 | 9 | 4 | 6 | 7 | 8 |
| 2 | 4 | 3 | 11 | 10 | 11 | 6 | 11 | 12 | 9 | 9 |
| 3 | 12 | 11 | 5 | 8 | 6 | 12 | 10 | 10 | 11 | 8 |

16 Пример определения среднего времени восстановления

При испытании дизелей ЗД6 и NVD26 фиксировались их отказы и время восстановления работоспособного состояния (таблица 9). В результате двигатель ЗД6 имел 10 отказов, а двигатель NVD26 – всего 3 отказа.

Таблица 9 – Время восстановления работоспособности, час

| Тип двигателя | Номер отказа | | | | | | | | | |
|---------------|--------------|---|----|---|-----|---|----|-----|---|----|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| ЗД6 | 28 | 2 | 7 | 4 | 1,5 | 2 | 12 | 0,5 | 2 | 3 |
| NVD26 | 10 | 3 | 11 | | | | | | | |

Согласно формуле (11) среднее время восстановления :

-для ЗД6 $T_v = (28+2+7+4+1,5+2+12+0,5+2+3)/10 = 60/10 = 6$ ч,

-для NVD $T_v = (10+3+11)/3 = 24/3 = 8$ ч.

Таким образом, двигатель ЗД6 имеет 10 отказов и среднее время восстановления 6 часов, а двигатель NVD26 имеет лишь 3 отказа, но среднее время восстановления – 8 часов.

Ответ: двигатель ЗД6 менее работоспособен, но более ремонтпригоден, чем двигатель NVD26.

17 Задача 5

Из подконтрольной эксплуатации двигателей ДД03 и NVD24 известно их время работы от начала испытаний до каждого отказа (таблицы 10 и 11). Используя результаты предыдущей задачи, определить коэффициенты готовности двигателей и результаты сравнить.

Таблица 10 – Время от начала испытаний до очередного отказа в двигателях ДД03, час

| № от-каза | Первая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 210 | 110 | 205 | 20 | 260 | 380 | 570 | 200 | 700 | 10 |
| 2 | 250 | 800 | 620 | 300 | 330 | 970 | 1800 | 540 | 750 | 250 |
| 3 | 300 | 350 | 1180 | 710 | 490 | 1750 | 2700 | 600 | 1340 | 500 |
| 4 | 510 | 820 | 1920 | 1270 | 1340 | 2400 | 3100 | 880 | 1900 | 610 |
| 5 | 620 | 1300 | 2300 | 3220 | 2700 | 2560 | 3550 | 1900 | 2100 | 880 |
| 6 | 1720 | 2800 | 3000 | 3850 | 3550 | 4160 | 4020 | 2870 | 2340 | 1270 |
| 7 | 1230 | 3350 | 3500 | 4030 | 4020 | 4520 | 4530 | 3000 | 4230 | 4130 |
| 8 | 3100 | 4800 | 4130 | 4300 | 4500 | 4850 | 4700 | 4030 | 4600 | 4850 |

Таблица 11 – Время от начала испытаний до очередного отказа в двигателях NVD24, час

| № от-каза | Вторая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-----------|-----------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| 1 | 200 | 250 | 610 | 670 | 180 | 600 | 120 | 500 | 470 | 920 |
| 2 | 1370 | 3050 | 1250 | 2800 | 3080 | 2120 | 600 | 3100 | 1200 | 3120 |
| 3 | 3850 | 4830 | 3500 | 4120 | 4970 | 3810 | 2960 | 4280 | 3550 | 4870 |

18 Сведения из теории к задаче 5

Коэффициент готовности определяется по формуле

$$k_r = T_o / (T_o + T_v), \quad (12)$$

где T_o – средняя наработка на отказ;

T_v – среднее время восстановления после отказа.

Коэффициент готовности – это вероятность того, что объект окажется в работоспособном состоянии в произвольный момент технической эксплуатации, когда наработки чередуются с восстановлениями. Так как обычно $T_v \ll T_o$, то коэффициент готовности имеет значения, близкие к единице (что говорит о высокой готовности техники выполнять свои функции).

19 Методические указания к задаче 5

Формулу (9) средней наработки на отказ необходимо представить для одного элемента (типа двигателя)

$$T_o = \sum_{i=1}^n t_i / n, \quad (13)$$

где t_i – время безотказной работы рассматриваемого типа двигателя до i -го отказа;

n – число отказов этого типа двигателя.

Из задачи 4 берутся величины T_v и по формуле (12) находятся два коэффициента готовности, которые сравниваются между собой.

20 Пример определения коэффициентов готовности

Допустим, для дизелей 3Дб задано: $t_1 = 140$ ч, $t_{02} = 270$ ч, $t_{03} = 2010$ ч и $t_{04} = 2950$ ч. Следовательно: $t_2 = 130$ ч, $t_3 = 1740$ ч и $t_4 = 940$ ч.

По формуле (13) находим

$$T_o = (140 + 130 + 1740 + 940) / 4 = 738 \text{ ч.}$$

Из предыдущей задачи берём для 3Дб $T_v = 6$ ч.

По формуле (12) находим

$$k_r = 738 / (738 + 6) = 0,992 \text{ – для 3Дб.}$$

Допустим, аналогично нашли для NVD26: $k_r = 0,996$.

Ответ: коэффициенты готовности достаточно высокие у обоих типов дизелей.

21 Задача 6

При подконтрольной эксплуатации двигателей ДД03 и NVD24 фиксировались не только наработки (смотри задачу 4) и восстановления (смотри задачу 5), но и другие технические операции (таблицы 12 и 13). Определить коэффициенты технического использования двигателей и результаты сравнить.

Таблица 12 – Технические операции и нетехнические остановки двигателей ДД03 при подконтрольной эксплуатации, час

| Обозначение | Первая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ЕТО | 200 | 190 | 210 | 180 | 220 | 170 | 230 | 160 | 240 | 150 |
| ТО-1 | 20 | 18 | 20 | 18 | 22 | 17 | 23 | 16 | 24 | 15 |
| ТО-2 | 40 | 30 | 38 | 22 | 27 | 33 | 26 | 14 | 25 | 25 |
| ТК | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| ТР | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| ВТО | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 12 | 14 | 18 | 18 | 20 |
| НО | 240 | 250 | 260 | 270 | 280 | 290 | 300 | 320 | 320 | 330 |

Таблица 13 – Технические операции и нетехнические остановки двигателей NVD24 при подконтрольной эксплуатации, час

| Обозначение | Вторая цифра варианта | | | | | | | | | |
|-------------|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| ЕТО | 150 | 160 | 170 | 180 | 140 | 130 | 120 | 110 | 100 | 90 |
| ТО-1 | 10 | 12 | 14 | 15 | 16 | 17 | 19 | 21 | 23 | 25 |
| ТО-2 | 40 | 42 | 45 | 47 | 50 | 40 | 42 | 45 | 47 | 50 |
| ТК | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 | 20 |
| ТР | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |
| ВТО | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 | 20 | 18 | 16 | 14 | 12 |
| НО | 240 | 260 | 280 | 300 | 320 | 250 | 270 | 290 | 310 | 330 |

22 Сведения из теории к задаче 6

Коэффициент технического использования

$$K_{\text{ТИ}} = t_{\text{н}} / (t_{\text{н}} + t_{\text{вост}}), \quad (14)$$

где $t_{\text{н}}$ – суммарная наработка объекта за рассматриваемый период;

$t_{\text{вост}}$ – суммарное время остановок объекта по техническим причинам за тот же период.

Коэффициент технического использования показывает долю работы объекта в рассматриваемый период эксплуатации. При этом не учитывается время остановок объекта по нетехническим причинам. Поэтому

$$t_{\text{вторг}} = t_{\text{в}} + t_{\text{то}} + t_{\text{р}} + t_{\text{т}}, \quad (15)$$

где $t_{\text{в}}$ – суммарное время восстановления объекта после отказов;

$t_{\text{то}}$ – суммарное время на технические обслуживания;

$t_{\text{р}}$ – суммарное время ремонтов;

$t_{\text{т}}$ – суммарное время на операции теплоконтроля.

Стремление повысить $k_{\text{ти}}$ вызывает необходимость проведения операций ВТОРГ по возможности во время стоянок по нетехническим причинам.

23 Методические указания к задаче 6

В таблицах 12 и 13 обозначено: ЕТО – ежедневное ТО; ТО-1 и ТО-2 – очередные ТО; ТК – теплоконтроль; ТР – текущий ремонт; ВТО – внеочередное ТО; НО – нетехнические остановки.

Величина $t_{\text{н}}$ представляет собой числитель формулы (13) и найдена в задаче 5 для обоих типов двигателей. Время $t_{\text{в}}$ – это числитель формулы (11) и оно найдено в задаче 4.

Величины $t_{\text{то}}$ и $t_{\text{т}}$ находятся из анализа данных таблиц 12 и 13. При этом с помощью приложений А и Б решается, какие операции технического обслуживания, ремонта и теплоконтроля требуют остановки двигателя и являются составляющими $t_{\text{то}}$ и $t_{\text{т}}$ (а какие из них можно сделать при вынужденных нетехнических остановках). Текущий ремонт (для дизелей это ТО-5) выполняется в специально отведённое время и целиком учитывается членом $t_{\text{р}}$.

24 Пример определения коэффициентов технического использования

Для дизелей ЗД6 из задачи 5 берём $t_{\text{н}} = \sum t_i = 2950$ ч, а из задачи 4 принимаем $t_{\text{в}} = \sum t_{\text{в}i} = 60$ ч. Из таблицы 12 следует $t_{\text{р}} = 75$ ч (как для дизеля ДД03).

Полное время теплоконтроля составило (таблица 12) 10 часов. В приложении Б не находим операций, из-за которых надо специально и срочно останавливать двигатель. Поэтому решаем весь теплоконтроль делать при нетехнических остановках, то есть принимаем $t_{\text{т}} = 0$.

Технические обслуживания согласно таблице 12 составляют: ЕТО = 190 ч, ТО-1 = 20 ч, ТО-2 = 40 ч и ВТО = 17 ч. В результате анализа приложения А заключаем, что специально останавливаем дизель лишь

при ВТО на замену изношенных поршневых колец, на что потребовалось 5 часов, то есть принимаем $t_{\text{ГО}} = 5$ ч.

Таким образом $t_{\text{вгорт}} = 60+75+5 = 140$ ч.

Коэффициент технического использования для двигателей ЗД6

$$k_{\text{ти}} = 2950/(2950+140) = 0,95.$$

Допустим, что для двигателей NVD26 аналогично найдено $k_{\text{ти}} = 0,91$.

Ответ: большие величины коэффициента технического использования говорят о том, что обслуживающий персонал не злоупотреблял остановками по техническим причинам.

25 Вопросы для защиты РГР

-Чем отличается время от начала испытаний до отказа от продолжительности безотказной работы (или наработки на отказ)?

-Как по данным эксплуатации определить вероятность безотказной работы?

-Какой формулой описывается экспоненциальное распределение?

-Чем в эксплуатации отличается интенсивность отказов от параметра потока отказов?

-Как определяется безотказная наработка?

-Как по эксплуатационной информации определяется средняя наработка на отказ?

-Как по эксплуатационной информации определяется среднее время восстановления?

-Что показывает коэффициент готовности?

-Что показывает коэффициент технического использования?

Список литературы

- 1 Мартынов А.А., Долгополов Г.А. Основы теории надёжности и диагностики. - Новосибирск: НГАВТ, 1999. – 108 с.
- 2 Мартынов А.А., Долгополов Г.А. Надёжность технических систем и техногенный риск. – Новосибирск: НГАВТ, 2000. – 135 с.
- 3 Калявин В.П. Основы теории надёжности и диагностики: Учебник. – СПб.: Элмор, 1998. – 172 с.

Приложение А (справочное)

Типовые операции технического обслуживания дизелей

Ежедневное техническое обслуживание (ЕТО) содержит: контроль за работой дизеля и его состоянием по приборам, путем визуального осмотра, на слух и на ощупь; проверка исправности действия контрольно-измерительных приборов, аварийно-предупредительной сигнализации, дистанционного автоматизированного управления и средств автоматизации; проверка уровней масла в картере, маслосборнике, реверс-редукторе, упорном подшипнике, турбокомпрессоре, блочном топливном насосе и регуляторе; пополнение системы маслом, смазывание мест ручной смазки и заправка автоматических масленок; продувка воздухоочистителей и влагоотделителей; осмотр навешенных механизмов и трубопроводов; устранение течи, подтяжка сальников; проверка состояния топливных и масляных фильтров, спуск отстоя, переключение на чистые секции; проверка уровня охлаждающей жидкости в расширительном баке; проверка легкости и плавности хода рукояток и тяг системы управления; очистка и обтирка от пыли и подтеков топлива, масла и воды.

ТО-1 включает в себя все работы ЕТО, а также очистку и промывку топливных и масляных фильтров, центрифуг; производится осмотр и очистка трубопроводов и узлов системы дистанционного автоматизированного управления, проверка шплинтовой гаек ответственных соединений и другие работы, не требующие остановки дизеля.

ТО-2 выполняется при остановке дизеля и включает в себя все операции, выполняемые при ТО-1 и, кроме того, более расширенную проверку технического состояния узлов и оборудования дизеля, не требующих их разборки: проверка зазоров в механизме газораспределения; проверка затяжек и шплинтовок ответственных соединений (крепление к фундаменту, навешенные механизмы, шатунные и рамовые подшипники, валовая линия, крышки цилиндров); проверка работы форсунок и топливных насосов; набивка сальников насосов; проверка выбега турбокомпрессора; отбор проб масла; регулировка элементов дистанционного автоматизированного управления.

ТО-3 производится при остановке судна с частичной разборкой дизеля. При этом выполняются все операции ТО-2, а также оценивается техническое состояние коленчатого вала и валопровода (измерение расцепов и зазоров в подшипниках без их вскрытия, проверка состояния упорного подшипника); проверка и очистка золотников воздухораспределителя и пусковых клапанов; проверка крепления шайб

распределительного вала; смазывание подшипников насосов; проверка состояния кабелей, аккумуляторов, стартеров и генераторов.

ТО-4 выполняют при специальной остановке судна или в межнавигационный период. Кроме операций ТО-3 при этом виде ТО частично разбирают цилиндро-поршневую группу, проверяют ее техническое состояние, заменяют изношенные кольца; очищают и притирают впускные и выпускные клапаны, производится регулировка зазоров в подшипниках коленчатого и распределительного валов; проверка зазоров в водяных и масляных насосах и в шестернях передач; замена изношенных сальников; регулировка форсунок на стенде; регулировка топливных насосов; промывка масляных и водяных холодильников, воздухоохладителей и зарубашечных пространств; замена масла, очистка маслосборников, маслопроводов, аварийно-предупредительной сигнализации и средств автоматики.

ТО-5 (или текущий ремонт) осуществляется в межнавигационный период. Номенклатура проводимых при этом работ устанавливается по Единой ремонтной ведомости на текущий ремонт дизеля. Основное отличие от ТО-4 состоит в полной переборке дизеля, обмере ответственных деталей и анализе скоростей их изнашивания.

Приложение Б (справочное)

Типовые операции теплотехнического контроля

Теплотехнический контроль проводится с главными двигателями силами судового экипажа не реже одного раза в месяц, а также после ТО-3 и замены гребных винтов.

При теплотехническом контроле выполняются следующие операции:

-проверка качества работы топливной аппаратуры (форсунок на герметичность и качество распыливания и топливных насосов на герметичность и регулировку нулевого положения);

-проверка и регулировка зазоров в механизме привода клапанов газораспределения;

-проверка давления сжатия, максимального давления сгорания, температуры выпускных газов по цилиндрам и перед турбокомпрессором;

-регулировка дизеля по показателям температуры выпускных газов и максимального давления сгорания по цилиндрам;

-замер и обработка данных по определению контрольных параметров рабочего процесса;

-анализ полученных при контрольных замерах параметров, определение мощности дизеля и сравнение её с паспортными характеристиками.

Контрольные замеры включают в себя определение:

-частоты вращения коленчатого вала;

-температур: воздуха, поступающего в дизель, охлаждающей воды на выходе из дизеля, масла на выходе из дизеля;

-давления наддувочного воздуха;

-времени расходования топлива в объеме мерного бака;

-плотности и температуры топлива.

Требования к проведению замеров: производить трижды в течении 0,5 часа; при этом дизель должен работать на установившемся режиме при номинальной частоте вращения и ходе судна на прямом глубоководном участке фарватера (глубина не менее 6-8 величин средней осадки судна) с полной грузовой осадкой для грузовых судов и среднеэксплуатационной осадкой для пассажирских судов. По дизелям буксиров-толкачей контрольные замеры производятся на швартовах с упором в берег при глубине под кормой не менее 4-х величин средней осадки судна.

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение..... | 3 |
| 1 Задача 1..... | 4 |
| 2 Сведения из теории к задаче 1..... | 4 |
| 3 Методические указания к задаче 1..... | 5 |
| 4 Пример решения задачи 1..... | 5 |
| 5 Задача 2..... | 5 |
| 6 Сведения из теории к задаче 2..... | 6 |
| 7 Методические указания к задаче 2..... | 8 |
| 8 Пример решения задачи 2..... | 8 |
| 9 Задача 3..... | 9 |
| 10 Сведения из теории к задаче 3..... | 10 |
| 11 Методические указания к задаче 3..... | 11 |
| 12 Пример определения безотказной наработки..... | 12 |
| 13 Задача 4..... | 13 |
| 14 Сведения из теории к задаче 4..... | 13 |
| 15 Методические указания к задаче 4..... | 13 |
| 16 Пример определения среднего времени восстановления..... | 14 |
| 17 Задача 5..... | 15 |
| 18 Сведения из теории к задаче 5..... | 16 |
| 19 Методические указания к задаче 5..... | 16 |
| 20 Пример определения коэффициента готовности..... | 16 |
| 21 Задача 6..... | 17 |
| 22 Сведения из теории к задаче 6..... | 17 |
| 23 Методические указания к задаче 6..... | 18 |
| 24 Пример определения коэффициента технического обслуживания..... | 18 |
| 25 Вопросы для защиты РГР..... | 20 |
| Список литературы..... | 21 |
| Приложение А. Типовые операции технического обслуживания дизелей..... | 22 |
| Приложение Б. Типовые операции теплотехнического контроля..... | 24 |

УЧЕБНОЕ ИЗДАНИЕ

Долгополов Геннадий Александрович

Определение показателей надёжности

Расчётно-графическая работа №2
по дисциплине «Надёжность и диагностика
речной техники»

Подписано к печати 28.6.06 с оригинал – макета.
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/16, печать трафаретная Riso.
Усл. печ. л. 1,51, тираж 100 экз., заказ №366. Цена договорная.
Новосибирская государственная академия водного транспорта
(НГАВТ), 630099, Новосибирск, ул. Щетинкина, 33.

Отпечатано в отделе оформления НГАВТ.

