

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
Кубанский государственный аграрный университет  
имени И.Т. Трубилина

М.А. Алябьев, С.С. Картохин,  
Е. А. Шапиро

**Расчетно-графическая работа №2**  
**«Оценка надежности капитально отремонтированных**  
**машин и агрегатов при полных испытаниях»**

по дисциплине  
**«Надежность механических систем»**



Краснодар  
2017

УДК 629.113.004(076)  
ББК 30.82я7  
Ш 23

Рецензент:

доктор технических наук, профессор *Курасов В.С.*

**Алябьев М.А., Картохин С.С., Шапиро Е. А.**

Ш 23 Расчетно-графическая работа №2 «Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов при полных испытаниях» по дисциплине «Надежность механических систем» / Е. А. Шапиро. - Краснодар: КГАУ, 2017. - 11 с.

В учебном пособии приведена расчетно-графическая работа в соответствии с теоретическим курсом дисциплины «Надежность механических систем».

В пособии приведены методические указания, примеры выполнения задания, форма отчета и контрольные вопросы для допуска и защиты расчетно-графической работы.

УДК 629.113.004(076)  
ББК 30.82я7

© Е.А.Шапиро, 2017  
© Оформление. КубГАУ, 2017

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 Методические указания	5
2 Пример выполнения работы	7
3 Задание	8
4 Порядок выполнения расчетно-графической работы	9
5 Отчет по расчетно-графической работе	10
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ	11

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курс «Надежность механических систем» занимает значительное место в учебном процессе, так как определяет содержание деятельности инженера автотранспортного предприятия. Не зная методов анализа машин на надежность, инженер автомобильного транспорта не может успешно руководить производством, находить правильное решение в каждом конкретном случае.

В настоящее время содержание этого курса систематизировано, в нем широко применяются научные методы анализа и расчета. Его изучение сопровождается выполнением расчетно-графических работ, которые занимают почти половину времени, отведенному этому курсу.

## 1 Методические указания

**Цель работы:** ознакомиться с методикой расчета 80-%-го ресурса капитально отремонтированных машин и агрегатов при полных испытаниях на надежность.

В данной работе оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов производится по полному плану испытаний.

*План испытаний* – это порядок (общая методика, процедура, способ) проведения испытаний. План определяет все основные черты данного способа экспериментальной оценки исследуемого показателя надежности, сохраняющиеся независимо от конкретного вида испытываемого изделия.

План испытаний можно считать заданным, если определены:

- оцениваемый показатель надежности;
- перечень параметров плана;
- перечень непосредственных результатов испытаний (достаточная статистика);
- процедура (методика, способ) получения непосредственных результатов;
- дополнительные условия, определяющие рамки применимости данного плана.

В узком смысле под планом испытаний понимают правила, устанавливающие объем выборки, порядок проведения испытаний и критерии их прекращения. Для названных элементов плана испытаний используют символические обозначения. Наименование плана принято обозначать тремя буквами: первая - число испытываемых объектов ( $N$ ); вторая - наличие ( $R$ ) или отсутствие ( $U$ ) восстановлений на время испытаний в случае отказа; третья - критерий прекращения испытаний (по истечению заданного времени  $T$ ; после наступления  $g$ -го отказа, после отказа всех объектов).

План испытаний  $[N, U, M]$  или **полный план**, означает, что под наблюдение взята контрольная партия из  $N$  объектов и что испытания проводятся до отказа всех объектов, отказавшие изделия не заменяются новыми.

Таким образом, при полном плане определяют наработки до отказа неремонтируемых изделий. Если объекты ремонтируемые, то при таком плане выявляют наработки только до первого отказа, затем их исключают из опыта. Сведения о дальнейших наработках до отказа этих объектов могут быть учтены как дополнительная информация о работе  $N_1$  объектов (свыше  $N$ ).

Модель испытаний  $N=5$  при плане  $[N, U, M]$  приведена на рисунке 1. Количество контролируемых объектов определяют согласно требованиям к объему выборки.

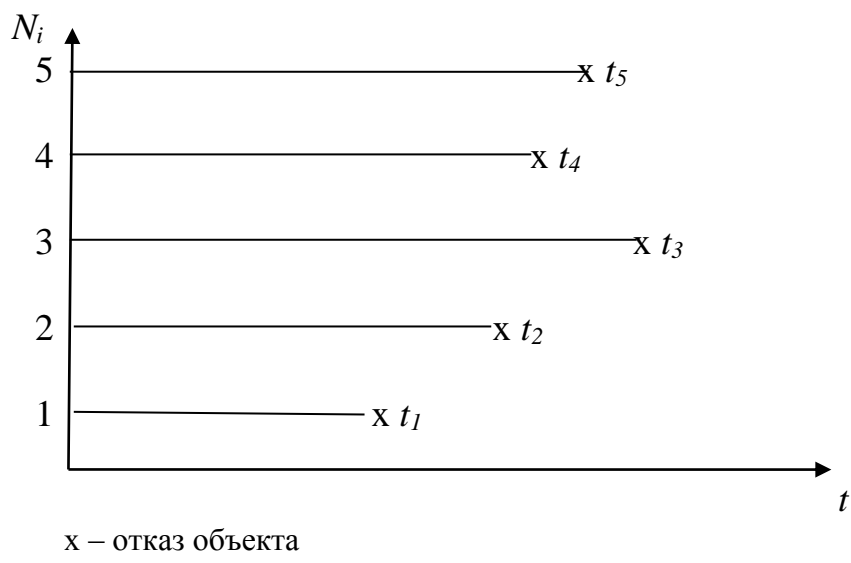


Рисунок 1 – Модель плана испытаний  $[N, U, N]$

Расчет оценки 80%-ного гамма-ресурса  $\hat{t}_{0,8}$  проводится следующим образом.

1) Располагаем наработки отказавших изделий в порядке возрастания:  $t_1 < t_2 < t_N$ . Вычисляем последовательно при каждой наработке  $t_i$  значения кривой убыли (вероятности безотказной работы) по формуле:

$$Q_i = Q(t_i) = \frac{N+1-i}{N+1} \quad (1 \leq i \leq N). \quad (1.1)$$

Значения кривой убыли, подсчитанные по формуле (1.1), заносим в таблицу 1.1.

Таблица 1.1 – Значения кривой убыли (вероятности безотказной работы)

Номера отказов, $i$	1	2	...	$N$
Ресурсы изделий, $t_i$	$t_1$	$t_2$	...	$t_N$
Значения кривой убыли, $Q_i$	$Q_1$	$Q_2$	...	$Q_N$

2) Проводим анализ данных таблицы. Если в таблице 1.1 среди значений кривой убыли есть значение  $Q_i$ , равное 0,8, то оценка 80%-го гамма-ресурса  $\hat{t}_{0,8}$  будет равна  $t_i$ . Если в таблице 1.1 нет значений кривой убыли, равных 0,8, то находим такие  $Q_i$  и  $Q_{i-1}$ , для которых  $Q_{i-1} > 0,8 > Q_i$ .

3) После этого определяем оценку 80%-ного гамма-ресурса методом линейной интерполяции по формуле:

$$\hat{t}_{0,8} = t_{i-1} + (t_i - t_{i-1}) \frac{Q_{i-1} - 0,8}{Q_{i-1} - Q_i}. \quad (1.2)$$

4) Находим среднее значение ресурса, среднее квадратическое отклонение и коэффициент вариации. Для расчета оценок среднего ресурса  $\hat{t}_{cp}$ , среднего квадратического отклонения ресурса  $\hat{\sigma}$  и коэффициента вариации ресурса  $\hat{\nu}$  используются формулы:

$$\hat{t}_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_i; \quad (1.3)$$

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (t_i - \hat{t}_{cp})^2}; \quad (1.4)$$

$$\hat{\nu} = \frac{\hat{\sigma}}{\hat{t}_{cp}}. \quad (1.5)$$

## 2 Пример выполнения работы

Испытывались  $N=13$  двигателей. Их ресурс был исчерпан при наработках  $t_1 = 3000, t_2 = 3500, t_3 = 3700, t_4 = 4000, t_5 = 4200, t_6 = 4300, t_7 = 4500, t_8 = 4800, t_9 = 4900, t_{10} = 5100, t_{11} = 5400, t_{12} = 5500, t_{13} = 6000$  мото-ч. Определить оценки характеристик ресурса двигателей и построить график кривой убыли ресурса.

Решение:

1) Находим значения кривой убыли ресурса по формуле (1.1):

$$Q_1(3000) = \frac{13+1-1}{13+1} = \frac{13}{14} = 0,9286;$$

$$Q_2(3500) = \frac{13+1-2}{13+1} = \frac{12}{14} = 0,8571;$$

$$Q_3(3700) = \frac{13+1-3}{13+1} = \frac{11}{14} = 0,7857 \text{ и т.д.}$$

2) Записываем полученные значения кривой убыли ресурса (вероятности безотказной работы двигателей) в таблицу 1.2.

Таблица 1.2 – Значения вероятности безотказной работы двигателей

Номера отказов, $i$	1	2	3	...
Ресурсы изделий, $t_i$	3000	3500	3700	...
Значения кривой убыли, $Q_i$	0,9286	0,8571	0,7857	...

3) Проводим анализ данных таблицы. Из таблицы видим, что  $Q_2 > 0,8 > Q_3$ . По формуле (1.2) находим:

$$\hat{t}_{0,8} = 3500 + (3700 - 3500) \frac{0,8771 - 0,8}{0,8571 - 0,7857} = 3660 \text{ мото-ч.}$$

4) Пользуясь формулами (1.3), (1.4) и (1.5), находим:

а) средний ресурс испытываемых двигателей

$$\hat{t}_{cp} = \frac{1}{13} (3000 + 3500 + 4000 + 4200 + 4300 + 4500 + 4800 + 4900 + 5100 + 5400 + 5500 + 6000) =$$

$$= 4530 \text{ мото-ч.};$$

б) среднее квадратическое отклонение ресурса

$$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{12} (1530^2 + 1030^2 + 830^2 + 530^2 + 330^2 + 230^2 + 30^2 + 270^2 + 370^2 + 570^2 + 870^2 + 970^2 + 1470^2)}$$

$$= 860 \text{ мото-ч.};$$

в) коэффициент вариации ресурса

$$\hat{\nu} = \frac{860}{4530} = 0,19.$$

г) построение графика кривой убыли (рисунок 2)

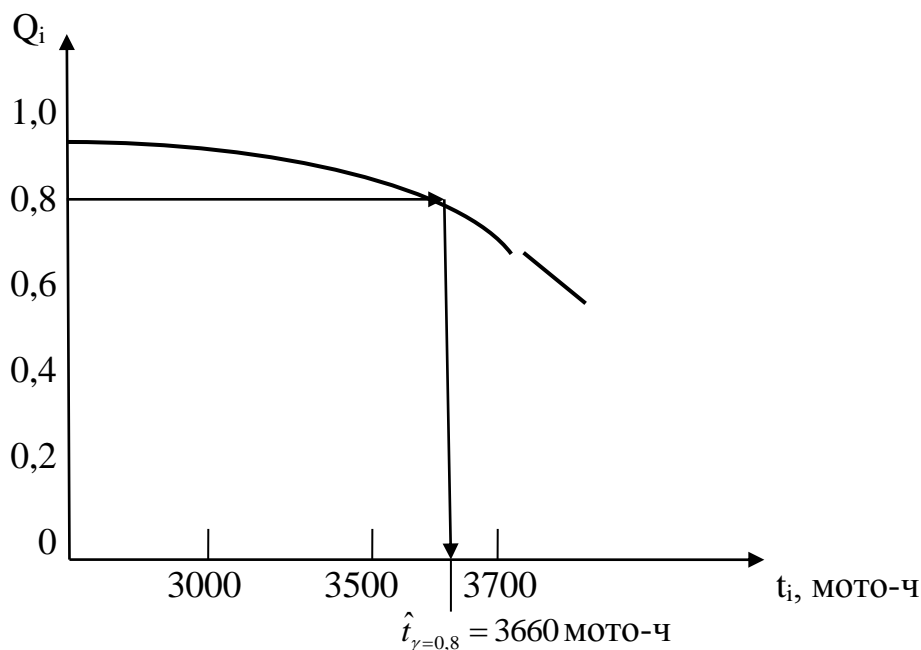


Рисунок 2 – График кривой убыли ресурса



### 3 Задание

На испытание по плану  $[N, U, M]$  поставлено  $N=13$  двигателей. Их ресурс был исчерпан при наработках, приведенных в таблице 1.3.

Определить оценки характеристик ресурса двигателей (80-% ресурс, средний ресурс, среднее квадратическое отклонение ресурса и коэффициент вариации).

Таблица 1.3 – Значения наработок двигателей, мото-ч

Вариант \ Нарботки	1	2	3	4	5	6	7	8
$t_1$	2500	2400	2300	2200	2100	2000	1900	1800
$t_2$	2800	2700	2600	2500	2400	2300	2200	2100
$t_3$	3000	2900	2800	2700	2600	2500	2400	2300
$t_4$	3100	3000	2900	2800	2700	2600	2500	2400
$t_5$	3600	3500	3400	3300	3200	3100	3000	2900
$t_6$	4200	4100	4000	3900	3800	3700	3600	3500
$t_7$	4600	4500	4400	4300	4200	4100	4000	3900
$t_8$	5100	5000	4900	4800	4700	4600	4500	4400
$t_9$	5300	5200	5100	5000	4900	4800	4700	4600
$t_{10}$	5800	5700	5600	5500	5400	5300	5200	5100
$t_{11}$	6100	6000	5900	5800	5700	5600	5500	5400
$t_{12}$	6300	6200	6100	6000	5900	5800	5700	5600
$t_{13}$	6500	6400	6300	6200	6100	6000	5900	5800

### 4 Порядок выполнения расчетно-графической работы

4.1 Составить схему плана испытаний  $[NUM]$ .

4.2 Рассчитать значения кривой убыли по формуле (1.1).

4.3 Записать полученные значения кривой убыли (вероятности безотказной работы двигателей) в таблицу 1.4.

Таблица 1.4 – Значения вероятности безотказной работы двигателей

Номера отказов, $i$	1	2	3	...
Ресурсы изделий, $t_i$				
Значения кривой убыли, $Q_i$				

4.4 Провести анализ данных таблицы 1.4.

4.5 Построить график кривой убыли и на нем показать значение 80%-го ресурса.

4.6 Пользуясь формулами (1.3 – 1.5) найти средний ресурс испытываемых двигателей, среднее квадратическое отклонение ресурса и коэффициент вариации.

4.7 Составить отчет по работе.

## 5 Отчет по расчетно-графической работе

### Расчетно-графическая работа №2 Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов при полных испытаниях

1. Цель работы
2. Задание.
3. Выполнение работы.
  - 3.1 Схема полного плана испытаний [NUN].
  - 3.2 Расчет значений кривой убыли (вероятности безотказной работы).
  - 3.3 Составление таблицы вероятности безотказной работы.
  - 3.4 Анализ данных таблицы.
  - 3.5 Построение графика кривой убыли.
  - 3.6 Расчет среднего ресурса испытываемых двигателей, среднего квадратического отклонения ресурса и коэффициента вариации.
  - 3.7 Выводы по работе.

Работу выполнил: / /

Работу принял: / Е.А. Шапиро /

### Контрольные вопросы для допуска и защиты расчетно-графической работы

1. Что такое план испытаний? Дайте определение.
2. При каких условиях план испытаний можно считать заданным?
3. Перечислите основные планы испытаний машин на надежность.
4. В чем сущность полного плана испытаний [NUN]?

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ОСТ 70/23.2. – 82. Испытания сельскохозяйственной техники. Надежность. Сбор и обработка информации. М., 1983. - 122 с.
- 2 Инструкция по оценке надежности машин. М., ГОСНИТИ, 1975. - 40 с.
- 3 Методика сбора информации об изменениях технического состояния, износах и отказах тракторов. М., ГОСНИТИ, 1975. - 35 с.
- 4 Таблицы для расчета надежности при распределении Вейбулла. Груничев А.С., Михайлов А.И., Шор Я.Б. Издательство стандартов.- М., 1974. - 64 с.
- 5 Шапиро Е.А. Оценка надежности капитально отремонтированных машин и агрегатов: Учебное пособие / Кубан. Гос. Аграр. Ун-т.- Краснодар, 2009. – 43 с.