

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Курганский государственный университет»

Кафедра «Автомобильный транспорт и автосервис»

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Основы теории надежности»  
для студентов направления 23.03.03

Курган 2018

Кафедра: «Автомобильный транспорт и автосервис».

Дисциплина: «Основы теории надежности» (направление 23.03.03).

Составили: д-р. техн. наук, профессор В.И. Васильев,  
канд. техн. наук, доцент А.В. Шарыпов.

Утверждены на заседании кафедры «23» ноября 2017 г.

Рекомендованы методическим советом университета «12» декабря 2017 г.

# Лабораторная работа

## Определение показателей надежности по статистическим данным

### 1 Цель работы

Целью лабораторной работы является закрепление и углубление знаний по разделу «Свойства надежности: безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость», полученных студентами при изучении дисциплины «Основы теории надежности».

### 2 Общие сведения

Каждое техническое устройство, в том числе и автомобиль, характеризуется определенными выходными параметрами, т.е. величинами, определяющими показатели качества. Эти параметры могут характеризовать самые разнообразные свойства машины в зависимости от ее назначения и тех требований, которые к ней предъявляются.

К основным свойствам автомобиля, которые устанавливаются нормативными документами при его проектировании, относятся: грузоподъемность (вместимость), топливная экономичность, динамичность, безопасность, комфортабельность, надежность, производительность и др. Совокупность этих показателей и определяет качество автомобиля.

В процессе эксплуатации большинство свойств, характеризующих качество автомобиля, изменяется. Количественная оценка интенсивности этих изменений во времени или по пробегу осуществляется с помощью показателей надежности.

Под надежностью автомобиля понимается его свойство сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, хранения и транспортирования

Надежность является комплексным свойством, которое включает безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенные сочетания этих свойств.

**Безотказность** (Reliability, failure-free operation) – свойство объекта непрерывно сохранять работоспособное состояние в течение некоторого времени или наработки.

**Долговечность** (Durability, longevity) – свойство объекта сохранять работоспособность до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Предельным называется состояние автомобиля, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

**Ремонтопригодность** (Maintainability) – свойство объекта, заключающееся в приспособленности к поддержанию и восстановлению работоспособного состояния технического обслуживания и ремонта.

**Сохраняемость** (Storability) – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способности объекта выполнять требуемые функции, в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Работоспособное состояние автомобиля – это состояние при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния автомобиля, называется отказом.

Отказ автомобиля или какого-либо агрегата, или системы может произойти вследствие самых различных причин. Это может быть разрушение, деформация или износ деталей, нарушение регулировок механизмов и систем, прекращение подачи топлива и смазки, а также изменение рабочих характеристик автомобиля, когда они выходят за пределы допустимых норм.

Перечисленные свойства имеют различную значимость в зависимости от вида объектов и условий их эксплуатации. Для некоторых неремонтируемых объектов (электрические лампочки, поршневые кольца и др.) определяющим свойством является безотказность. Для машин кратковременного или сезонного действия большое значение приобретают сохраняемость и безотказность. Для ремонтируемых объектов длительного пользования одним из важнейших свойств надежности является ремонтопригодность.

Количественно надежность объекта оценивается с помощью показателей, которые выбираются и определяются с учетом особенностей объекта, режимов и условий его эксплуатации.

## 2.1 Показатели надежности

Показатель надежности (Reliability measure) – количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность автомобиля или его агрегата, узла, детали (объекта, изделия).

Показатель может иметь размерность (например, наработка на отказ) или не иметь ее (например, вероятность безотказной работы).

При рассмотрении показателей надежности различают:

- наименование показателя (например, вероятность безотказной работы);
- численное значение, изменяющееся в зависимости от условия и продолжительности эксплуатации автомобилей.

Показатели могут быть статистическими (оценочными) или теоретическими (вероятностными). Статистические оценки – это результат наблюдений за некоторой выборкой из  $N$  изделий. Если  $N \rightarrow \infty$ , то выборка приближается к генеральной совокупности, а статистические оценки – к вероятностным.

Рассмотрим в данной лабораторной работе некоторые показатели безотказности.

### 2.1.1 Показатели безотказности

**Вероятность безотказной работы** (Reliability function, survival function)  $P(l)$  – это вероятность того, что в пределах заданной наработки отказ объекта не возникнет.

Этот показатель применяется для количественной оценки безотказности восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектов. При назначении или определении этого показателя указывается наработка, в течение которой его значение должно быть в пределах заданной величины.

Статистически вероятность безотказной работы  $P(l)$  определяется как отношение числа исправно работающих объектов к общему числу объектов, находящихся под наблюдением на протяжении наработки  $l$ , т.е.:

$$P(l) = \frac{n(l)}{N} = \frac{N - m(l)}{N} = 1 - \frac{m(l)}{N}, \quad (2.1)$$

где  $n(l)$  – число автомобилей, безотказно проработавших до заданной наработки;

$m(l)$  – число отказавших автомобилей к заданной наработке;

$N$  – число автомобилей, работоспособных в начальный момент времени.

В начальный момент времени (перед испытаниями) все объекты являются исправными, т. е. выполняется равенство  $n=N$  и, следовательно,  $P(l) = 1$ .

Если испытания проводятся до отказа всех  $N$  объектов, то в конце испытаний  $n=0$ , а  $P(l) = 0$ .

Следовательно, вероятность безотказной работы в течение конечных интервалов времени может иметь значения в пределах от 0 до 1 ( $0 \leq P(l) \leq 1$ ).

Наряду с понятием «вероятность безотказной работы» часто используют понятие «вероятность отказа», которая определяется следующим образом: это вероятность того, что объект в течение заданной наработки откажет хотя бы один раз, будучи работоспособным, в начальный момент времени.

Вероятность отказов – по смыслу величина, противоположная вероятности безотказной работы и связанная с функцией распределения наработки до отказа:

$$F(l) = 1 - P(l) = F(l), \quad (2.2)$$

где  $F(l)$  – функция распределения наработки до отказа.

Статистически вероятность отказа можно определить следующим образом:

$$F(l) = \frac{m(l)}{N}. \quad (2.3)$$

С увеличением наработки вероятность безотказной работы уменьшается, а вероятность отказа возрастает.

**Средняя наработка до отказа** (Mean operating time to failure) – это математическое ожидание наработки объекта до первого отказа.

Статистическая оценка для средней наработки до отказа определяется отношением суммы наработки испытуемых объектов до отказа к числу наблюдаемых объектов, если они все отказали за время испытаний.

$$L_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i, \quad (2.4)$$

где  $N$  – число работоспособных объектов при  $l=0$ ;

$l_i$  – наработка до первого отказа каждого из объектов.

**Средняя наработка на отказ** (*наработка на отказ*), (Mean operating time between failures) – это отношение суммарной наработки восстанавливаемого объекта к математическому ожиданию числа его отказов в течение этой наработки.

Данному определению средней наработки на отказ  $L_2$  соответствует следующая формула:

$$L_2 = \frac{L}{M\{r(l)\}}, \quad (2.5)$$

где  $L$  – суммарная наработка;

$r(l)$  – число отказов, наступивших в течение этой наработки;

$M\{r(l)\}$  – математическое ожидание этого числа.

Статистическую оценку средней наработки на отказ  $L_2$  вычисляют по формуле:

$$L_2 = \frac{L}{r(l)}, \quad (2.6)$$

где  $r(l)$  – число отказов, фактически происшедших за суммарную наработку  $L$ .

Формула (2.6) допускает обобщение на случай, когда объединяются данные, относящиеся к группе однотипных объектов, которые эксплуатируются в статистически однородных условиях. Если поток отказов – стационарный, то в формуле достаточно заменить  $L$  на сумму наработок всех наблюдаемых объектов и заменить  $r(l)$  на суммарное число отказов этих объектов.

### 2.1.2 Показатели долговечности

Основными показателями долговечности машин являются гамма-процентный ресурс, средний ресурс, гамма-процентный срок службы и средний срок службы.

Ресурс (Useful life) – это суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Срок службы (Useful lifetime) – это календарная продолжительность эксплуатации от начала эксплуатации объекта или ее возобновления после ремонта до перехода в предельное состояние.

Эти показатели для конкретных видов машин могут быть выражены в виде средних значений ресурсов и сроков службы отдельно до капитального ремонта, между капитальными ремонтами и до списания машины.

Средний ресурс (Mean life, mean useful life) – математическое ожидание ресурса.

Средний срок службы (Mean lifetime) – математическое ожидание срока службы.

При наличии данных о ресурсе (сроке службы)  $N$  объектов статистическая оценка среднего ресурса  $L_p$  (среднего срока службы) определяется по формуле:

$$L_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_{pi} , \quad (2.7)$$

где  $l_{pi}$  – ресурс  $i$ -го объекта.

Гамма-процентный ресурс (Gamma-percentile life) – суммарная наработка, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Гамма-процентный ресурс можно легко определить по графику вероятности безотказной работы изделия. Для этого необходимо через точку  $P(l) = \gamma$  на оси ординат провести горизонталь до пересечения с кривой. Абсцисса точки пересечения и будет  $\gamma$ -процентным ресурсом.

На рисунке 2.1 показана кривая вероятности безотказной работы и отмечено значение  $P(l_\gamma)$  для  $\gamma = 90\%$ . Это значит, что к моменту наработки  $l_{\gamma=90\%}$  осталось 90% изделий, не требующих ремонта.

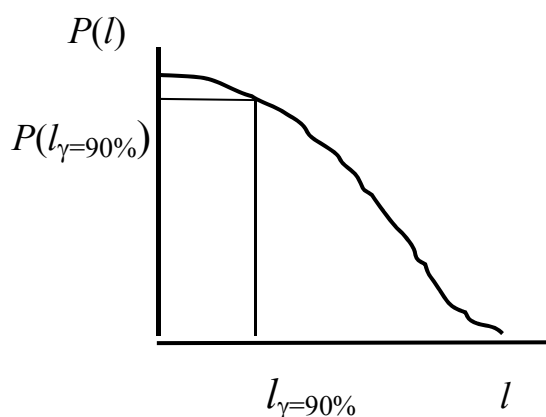


Рисунок 2.1 – Определение гамма-процентного ресурса

Величина  $\gamma$  зависит от уровня долговечности изделий и для автомобильных изделий устанавливается из ряда  $\gamma=90$  или  $95\%$ . Если устанавливается  $\gamma=90\%$ , то соответствующий ей ресурс называется 90%-м.

Гамма-процентный срок службы (Gamma-percentile lifetime) – календарная продолжительность эксплуатации, в течение которой объект не достигнет предельного состояния с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

Последние два показателя определяются как корни  $l_\gamma$  уравнения:



$$F_p(l_\gamma) = 1 - \gamma / 100, \quad (2.8)$$

где  $F_p(l)$  – функция распределения ресурса (срока службы).

Как видно из формулы (2.8), гамма-процентные показатели равны квантилям соответствующих распределений.

Если вероятности, отвечающие этим квантилям, выражаются в процентах, то для показателей безотказности обычно задают значения 90; 95; 99; 99,5%. Тогда вероятность возникновения отказа на отрезке  $[0 - l]$  будет составлять 0,10; 0,05; 0,01; 0,005 и т. д.

### 3 Порядок выполнения лабораторной работы

#### 3.1 Задание на лабораторную работу

Задание на лабораторную работу выдается преподавателем каждому студенту индивидуально на специальном бланке и содержит статистические данные эксплуатационных испытаний (наработка на отказ агрегата автомобиля). Пример задания приведен в приложении А.

Для проведения расчетов и построения графиков предусмотрено использование компьютерной программы Microsoft Office Excel.

#### 3.2 Последовательность выполнения работы

Пользуясь статистическими данными эксплуатационных испытаний (пример приведен в таблице А1.1) по надежности агрегатов и узлов автомобиля необходимо рассчитать рассмотренные выше показатели безотказности.

Рекомендуется следующая последовательность выполнения расчетов.

1 Выявить наибольшее  $l_{max}$  и наименьшее  $l_{min}$  значения элементов выборки.

2 Вычислить приближенное количество интервалов группирования:

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

3 Полученное значение округлить в меньшую сторону.

4 Рассчитать ширину (длину) интервалов группирования:

$$\Delta l = \frac{l_{max} - l_{min}}{r}.$$

5 Определить накопленное число отказов по интервалам наработки  $\Delta l$ :

$$m(l_j) = \sum_{j=1}^k m_j,$$

где  $m_j$  – число изделий, отказавших в  $j$  - м интервале;

$k$  – номер интервала.

6 Определить число работоспособных изделий по интервалам наработки:

$$n(l_j) = N - m(l_j),$$

где  $N$  – общее число отказов.

7 Рассчитать относительную долю отказов по интервалам наработки (частоту):

$$\bar{w}_j = \frac{m_j}{N}.$$

8 Рассчитать статистическую вероятность наступления отказов:

$$\bar{F}(t_j) = \frac{m(l_j)}{N}.$$

9 Рассчитать статистическую вероятность безотказной работы изделия:

$$\bar{P}(t_j) = \frac{n(l_j)}{N}.$$

10 Рассчитать оценку плотности распределения наработки на отказ:

$$\bar{f}(t_j) = \frac{m_j}{N \cdot \Delta l}.$$

Расчетные данные занести в таблицу 3.1.

11 Рассчитать среднюю наработку до отказа по формуле 2.4.

12 Рассчитать среднюю наработку на отказ по формуле 2.6 для каждого автомобиля и по всей группе автомобилей.

13 По результатам расчетов построить на одном графике гистограммы числа отказов в интервале  $m_j$  и плотности  $\bar{f}(l)$  распределения наработки на отказ.

14 По результатам расчетов построить на одном графике распределения вероятностей наступления отказов  $\bar{F}(l)$  и безотказности работы изделия  $P(l)$ .

На графике указать 90%-й ресурс изделия.

Таблица 3.1 – Расчет показателей безотказности работы технического объекта

Номер интервала	j	j=1	j=2	...	j=k
Границы интервалов	$l_{нач.j}$				
	$l_{кон.j}$				
Число отказов в интервале	$m_j$				
Накопленное число отказов	$m(l_j)$				
Число работоспособных изделий	$n(l_j)$				
Частость	$\bar{\omega}_j$				
Вероятность отказов	$\bar{F}(l_j)$				
Вероятность безотказной работы	$\bar{P}(l_j)$				
Плотность распределения нара- ботки на отказ	$\bar{f}(l_j)$				

#### 4 Содержание отчета

- 1 Наименование и цель работы.
- 2 Основные определения и расчетные формулы.
- 3 Исходные данные и результаты вычислений (таблица, гистограммы и графики).
- 4 Заключение и выводы о надежности изделия.

#### 5 Контрольные вопросы

- 1 Дайте определение надежности автомобиля.
- 2 Перечислите основные свойства надежности автомобиля.
- 3 Перечислите показатели безотказности технических объектов.
- 4 Укажите взаимосвязь между параметрами  $F(t)$ ,  $P(t)$ ,  $f(t)$ .

Приложение А  
(информационное)

Пример задания для лабораторной работы

*Таблица А.1 – Статистические данные эксплуатационных испытаний  
(наработка на отказ агрегата автомобиля)*

Наработка на отказ агрегата автомобилей										
Номер отказа	Номер автомобиля									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	20825	22736	28545	22314	22340	8040	10366	14511	27873	20966
2	23392	23426	35434	24197	23348	21123	27934	19835	33789	23373
3	28927	26385	37386	28122	25852	23085	31285	26019	34460	25407
4	32984	30632	38860	30126	26392	28602	33548	26941	38039	29192
5	34063	34113	39920	30265	34279	30693	35462	27606	38303	29390
6	34496	34993	43477	31618	36556	36613	36852	29621	38608	31661
7	39636	36393	43592	34105	36779	39119	39462	33078	40408	32269
8	39718	36474	43628	36004	38829	43933	40072	33775	43285	35084
9	40122	37594	43685	41843	38840	45405	40994	37002	43568	38891
10	40443	38005	44892	42035	41663	45701	41462	37687	45770	41290
11	43905	38966	45314	42139	42139	46313	42788	37736	47881	43234
12	46917	46367	46077	45155	42612	46567	42810	41928	50303	43853
13	47193	46929	47041	45820	43788	47192	46814	43701	53551	44106
14	48777	47178	48832	49904	47903	47279	48137	43721	54904	44534
15	48779	50209	48972	50814	50849	47760	48681	44236	57777	45274
16	48848	50392	49641	51414	51113	49965	49234	48466	57786	47321
17	51185	51080	49948	51455	51285	51333	50259	48498	58256	51412
18	51816	51131	52829	51969	54491	51604	50270	50298	58603	54977
19	52189	56055	52844	52284	55105	54869	50690	51487	60747	56674
20	53805	56356	53427	53093	56502	55134	51378	54008	61070	58309
21	55896	56993	53702	55116	57189	56171	52333	56222	61916	59538
22	57269	57204	54813	60038	58888	64256	53695	56355	62731	59743
23	58066	57551	55651	60796	59324	64496	57552	56668	63942	63659
24	58271	58041	55783	61255	59749	66853	58075	58142	64008	64309
25	61985	58048	61662	63190	60483	68458	58545	58339	64655	64685
26	62333	59011	62426	65448	63006	70780	60548	58848	66117	66581
27	71937	63378	67583	65690	66512	72384	63623	59334	69404	68657
28	78679	69795	70989	67809	73117	73891	64413	62778	76544	69206
29	79040	70638	73865	71044	75278	74137	73170	67523	81755	77165
30	80136	75017	83795	74264	87611	85222	73663	80422	87808	84157

Васильев Валерий Иванович  
Шарыпов Александр Владимирович

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ  
ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ**

Методические указания  
к выполнению лабораторных работ  
по дисциплине «Основы теории надежности»  
для студентов направления 23.03.03

Редактор Н.Н. Погребняк

---

Подписано в печать 29.08.18	Формат 60*84 1/16	Бумага тип. 65 гр /м <sup>2</sup>
Печать цифровая	Усл. печ. л. 0,8	Уч-изд. л. 0,8
Заказ № 155	Тираж 25	Не для продажи

---

БИЦ Курганского государственного университета.  
640020 г. Курган, ул. Советская, 63/4.  
Курганский государственный университет.