

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное агентство по образованию
Курганский государственный университет
Кафедра “Автомобильный транспорт и автосервис”

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКА
ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания
к выполнению курсовой работы
для студентов заочной формы обучения специальностей
190601 “Автомобили и автомобильное хозяйство”,
190603 “Сервис транспортных и технологических машин и оборудования
(автомобильный транспорт)”

Курган 2007

Кафедра: “Автомобильный транспорт и автосервис”
Дисциплина: “Основы теории надежности и диагностика”, “Основы работоспособности технических систем” (направление 190600, специальности 190601, 190603)

Составили: канд. техн. наук, доцент Осипов Г.В.
канд. техн. наук, доцент Шарыпов А.В.

Утверждены на заседании кафедры “ 07 ” 06 _____ 2007 г.

Рекомендованы методическим советом университета

“ 29 ” 06 _____ 2007г.

ВВЕДЕНИЕ

Данные методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении курсовой работы по дисциплинам “Основы теории надежности и диагностика” и “Основы работоспособности технических систем”. Курсовая работа предусматривает определение периодичности технического обслуживания, допустимого (упреждающего) значения диагностического параметра, а также расчет вероятности безотказной работы заданного агрегата, узла или системы автомобиля.

1 ЦЕЛЬ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Целью курсовой работы является закрепление и углубление знаний, полученных студентами при изучении дисциплин “Основы теории надежности и диагностика”, “Основы работоспособности технических систем”.

2 ЗАДАНИЕ НА КУРСОВУЮ РАБОТУ

Задание на курсовую работу выдается каждому студенту индивидуально на специальном бланке и содержит:

- выборку наработок на отказ;
- величину затрат на проведение операции ТР – с;
- величину затрат на проведение операции ТО – d;
- величину затрат на проведение операции диагностирования – с_д.

3 ОБЪЕМ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

Курсовая работа состоит из расчетно–пояснительной записки объемом 20 – 30 стр. формата А4 (210×297мм).

Порядок расположения материала в расчетно-пояснительной записке следующий:

титульный лист,

задание на курсовую работу,

содержание,

введение;

1 Определение периодичности профилактики.

1.1 Расчет эмпирических характеристик распределения.

1.2 Расчет теоретических параметров распределения.

1.3 Расчет периодичности технического обслуживания.

2 Расчет допустимого значения диагностического параметра.

3 Расчет надежности (безотказности) заданного механизма, агрегата, системы.

Заключение

Список литературы

Приложения

4 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

4.1 Расчет эмпирических характеристик распределения

Расчет эмпирических характеристик распределения рекомендуется проводить в следующей последовательности.

Сгруппировать данные выборки пробегов до отказа заданного агрегата, узла или системы по интервалам пробега, количество которых определяется по формуле:

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

где N – количество данных в выборке.

Полученное значение округлить в меньшую сторону.

Ширина интервала группирования может быть рассчитана по следующей зависимости:

$$\Delta l = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{r}, \quad (2)$$

где l_{\max}, l_{\min} – соответственно максимальное и минимальное значение элемента выборки.

Расчитать значение эмпирической плотности распределения вероятностей отказов $f_{эj}(l)$ и эмпирической функции распределения вероятностей отказов $F_{эj}(l)$ для каждого интервала группирования.

$$f_{эj}(l) = \frac{m_j}{N\Delta l}, \quad (3)$$

$$F_{эj}(l) = \frac{\sum_{j=1}^r m_j}{N}, \quad (4)$$

где m_j – количество данных, попавших в j -й интервал группирования.

Таблица 1 – Расчет эмпирических характеристик

Номер интервала j	Границы интервалов $l_j; l_{j+1}$	Середина интервала \bar{l}_j	m_j	$f_{эj}(l)$	$F_{эj}(l)$
1	2	3	4	5	6

По результатам вычисления граф 4, 5 и 6 таблицы 1 построить гистограмму, графики эмпирической плотности распределения и эмпирической функции распределения. По внешнему виду принять гипотезу о виде закона распределения наработок до отказа.

Используя данные из таблицы 1, вычислить оценку математического ожидания выборки:

$$\bar{l} = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^r \bar{l}_j m_j. \quad (5)$$

Определить оценку среднего квадратического отклонения:

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sum (\bar{l} - \bar{l}_j)^2 \frac{m_j}{N}}. \quad (6)$$

Вычислить оценку коэффициента вариации:

$$\bar{v} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{l}}. \quad (7)$$

4.2 Проверка гипотезы о принадлежности данных нормальному закону распределения

Рассчитать центрированные и нормированные отклонения середин интервалов:

$$y_j = \frac{\bar{l}_j - \bar{l}}{\bar{\sigma}}. \quad (8)$$

Используя данные таблицы П1 Приложения, рассчитать значение теоретической плотности распределения вероятностей отказов:

$$f_j(l) = \frac{f_0(|y_j|)}{\bar{\sigma}}, \quad (9)$$

где $f_0(y_j)$ – табличная плотность вероятностей нормированного распределения.

Теоретическая величина функции распределения отказов вычисляется с использованием табличных значений функции Лапласа $\Phi(y_j)$:

$$F_j(l) = 0,5 + 0,5\Phi(y_j), \quad (10)$$

где $\Phi(y_j)$ – выбирается из таблицы П2 Приложения.

При этом $\Phi(-y_j) = -\Phi(y_j)$.

Таблица 2 – Расчет параметров нормального закона распределения

Номер интервала j	$\bar{l}_j m_j$	$(\bar{l}_j - \bar{l})^2 \frac{m_j}{N}$	y_j	$f_{эj}(l)$	$f_j(l)$	$F_{эj}(l)$	$F_j(l)$

Вычислить значение критерия согласия χ^2 по формуле:

$$\chi^2 = \sum_{j=1}^r \frac{(m_j - NP_j)^2}{NP_j}, \quad (11)$$

где $P_j = f_j(l)\Delta l$ – вероятность попадания данных в j -й интервал.

Таблица 3 – Расчет критерия согласия χ^2 Пирсона

Номер интервала j	$f_j(l)$	P_j	NP_j	$m_j - NP_j$	$(m_j - NP_j)^2$	$\frac{(m_j - NP_j)^2}{NP_j}$

Найти табличное значение критерия $(\chi^*)^2$ по таблице ПЗ Приложения, предварительно задавшись уровнем доверительной вероятности:

$$\gamma = \text{Вер}\{\chi^2 \leq (\chi^*)^2\},$$

и рассчитать число степеней свободы K :

$$K = r - m - 1, \quad (12)$$

где m – число параметров теоретического распределения, для нормального закона $m = 2$;

r – число интервалов группирования.

Если вычисленное значение χ^2 будет меньше $(\chi^*)^2$, то для принятой доверительной вероятности гипотеза о согласии эмпирического и теоретического закона не отвергается. В обратном случае необходимо рассмотреть возможность принадлежности данной выборки к другим законам распределения случайных величин.

4.3 Расчет периодичности технического обслуживания

Периодичность ТО может быть определена: по допустимому уровню безотказной работы агрегата, узла или системы; технико–экономическим методом; экономико–вероятностным методом.

Метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности предусматривает выбор такой периодичности $l_{ТО}$, при которой вероятность возникновения отказа или неисправности ранее установленной периодичности будет меньше обусловленного уровня. При этом для агрегатов, узлов и систем, обеспечивающих безопасность движения, допустимая вероятность безотказной работы принимается $R_d = 0,90–0,95$, для прочих узлов и агрегатов $R_d = 0,85–0,90$.

Искомая периодичность l_{TO} может быть получена по зависимости:

$$l_{TO} = \beta_1 \bar{l}, \quad (13)$$

где β_1 – коэффициент оптимальной периодичности, учитывающий величину и характер вариации наработки на отказ, а также принятую допустимую вероятность безотказной работы.

Величина β_1 может быть определена из таблицы П4 Приложения.

Экономико–вероятностный метод предусматривает проведение технического обслуживания с периодичностью l_{TO} , при которой суммарные удельные затраты на проведение ТО и ТР будут минимальными. При этом удельные затраты определяются как отношение средневзвешенной по вероятности стоимости соответствующей операции к средневзвешенной наработке:

$$C_{\Sigma} = C_{TO} + C_{TP} = \frac{dP}{l_{cp}} + \frac{c(1-P)}{l_{cp}}, \quad (14)$$

где d – затраты на операции ТО;

c – затраты на операции ТР;

P – вероятность безотказной работы при пробеге l_{TO} .

Величина средневзвешенной наработки l_{cp} может быть определена:

$$l_{cp} = l_{TO}P + \int_{l_{\min}}^{l_{TO}} l\varphi(l)dl, \quad (15)$$

где l_{\min} – минимальная наработка на отказ по выборке;

$\varphi(l)$ – дифференциальная функция распределения отказов.

Для того, чтобы определить оптимальную периодичность обслуживания, необходимо, изменяя в достаточно широких пределах величину l_{TO} , произвести вычисления по формулам (14) и (15) до достижения минимального значения C_{Σ} .

Оптимальную периодичность технического обслуживания можно определить, используя коэффициент оптимальной периодичности:

$$l_{TO} = \beta_2 \bar{l}, \quad (16)$$

где
$$\beta_2 = \left[\frac{2(d/c)v}{(1+v^2)(1-v)} \right]^v.$$

Величина v представляет собой коэффициент вариации наработки на отказ.

4.4 Расчет допустимого значения диагностического параметра

Назначение диагностических нормативов можно производить на основе статистического анализа распределения значений диагностических параметров у группы подконтрольных автомобилей, находящихся в характерных условиях эксплуатации.

Область допустимых в эксплуатации значений диагностического параметра можно ограничить некоторым предельным рассеиванием относительного номинального (наилучшего) значения параметра. Полученные таким образом пределы и будут являться нормативными значениями диагностических параметров.

При этом необходимо иметь в виду, что предельное значение диагностического параметра для совокупности механизмов также имеет естественное рассеивание, и чем больше параметр отличается от своего номинального значения, тем вероятнее становится неисправное состояние. В силу этого на граничных областях рассеивания, аппроксимируемого теоретическим законом, одни и те же значения диагностического параметра могут соответствовать для различных механизмов как исправному, так и неисправному состоянию. Поэтому уровень вероятности, с которым ограничивают рассеивание при определении нормативного показателя, необходимо выбирать с учетом ошибок первого и второго рода, возможных при диагностировании.

Ошибка первого рода (α) "ложная неисправность" состоит в признании механизма неисправным в тот момент, когда он является исправным; ошибка второго рода (β) "пропуск неисправности" – признание механизма исправным при его неисправном фактическом состоянии. Исходя из практического опыта, можно считать, что все значения диагностического параметра, находящиеся в пределах рассеивания $A_{0,85}$ (ограниченного уровнем вероятности $P=0,85$), соответствуют исправному состоянию, ошибка второго рода при этом будет минимальна; значения параметра, выходящие за пределы рассеивания $A_{0,95}$ (ограниченного уровнем вероятности $P=0,95$), соответствуют неисправному состоянию и минимальному значению ошибки первого рода (рисунк 1). Значения параметра внутри диапазона $A_{0,85} - A_{0,95}$ будут соответствовать как исправному, так и неисправному состоянию, при этом вероятности обоих состояний можно считать одинаковыми, т.е. $\alpha=\beta=0,05$.

Поскольку для наиболее ответственных механизмов ошибки второго рода при постановке диагноза должны быть минимальными, то нормативные значения должны ограничиваться более жестким, 85% – рассеиванием $A_{0,85}$, при котором будут иметь место досрочные ремонты и регулировки. Для остальных механизмов рядового использования технические воздействия желательнее проводить при явно выраженной неисправности, поскольку стоимость устранения аварийных отказов сопоставима с затратами на профилактику. Поэтому ошибка первого рода при постановке диагноза должна быть минимальная, и нормативные значения необходимо ограничивать менее жестким, 95% рассеиванием $A_{0,95}$. При таком подходе максимальная ошибка диагноза

не превысит 5% и будет приводить к наилучшему для рассматриваемых условий исходу, удовлетворяя в целом требованиям эксплуатации.

В зависимости от закономерностей изменения диагностического параметра его рассеивание может быть ограничено с одной или с двух сторон. При одностороннем ограничении номинальным значением диагностического параметра S_n является наилучшая его величина (наименьший расход топлива, вибрация, скорость изнашивания; наибольшая мощность, к.п.д. и т.д.); она не должна исключаться из интервала. При двухстороннем ограничении номинальное значение S_n находится внутри интервала.

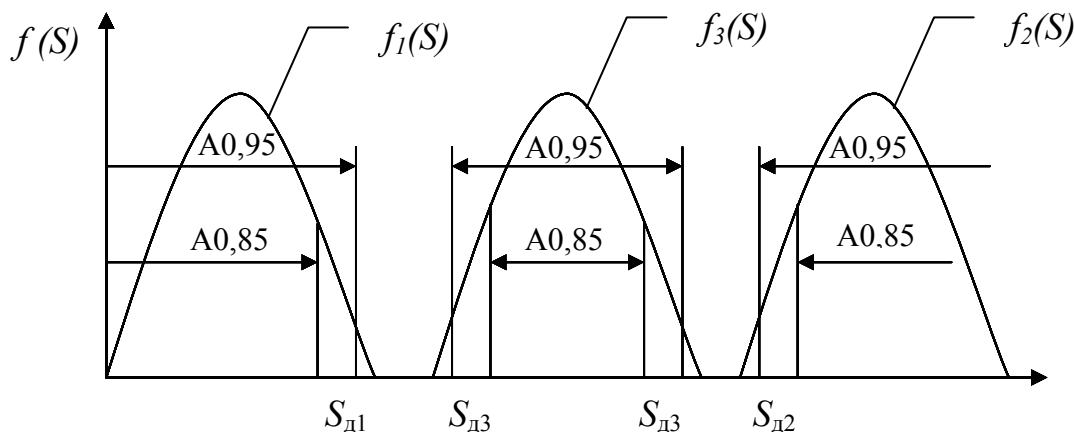


Рисунок 1 – Определение нормативного показателя по теоретическому закону распределения диагностического параметра для исправного состояния механизма при различных видах ограничений

Исходя из данных (таблица 4), характеризующих закон распределения значений параметров, необходимо определить, исходя из физической природы параметра и вида гистограммы, вид его ограничения (снизу, сверху или двухсторонний) и принять допустимый уровень вероятности рассеивания ($A_{0,85}$ или $A_{0,95}$). Для диагностических параметров узлов, агрегатов и систем, влияющих на безопасность движения, принимают более жесткое 85%-ограничение ($A_{0,85}$), чем для менее ответственных, для которых принимают 95% - ограничение ($A_{0,95}$).

Рассчитать допустимое значение диагностического параметра S_d , исходя из следующего:

- одностороннее ограничение сверху
 - при $A_{0,85}$ норматив $S_d = S_{cp} + \sigma$;
 - при $A_{0,95}$ норматив $S_d = S_{cp} + 1,7\sigma$;
- одностороннее ограничение снизу
 - при $A_{0,85}$ норматив $S_d = S_{cp} - \sigma$;
 - при $A_{0,95}$ норматив $S_d = S_{cp} - 1,7\sigma$;
- двухстороннее ограничение
 - при $A_{0,85}$ норматив $S_d = S_{cp} \pm 1,5\sigma$;
 - при $A_{0,95}$ норматив $S_d = S_{cp} \pm 2\sigma$.

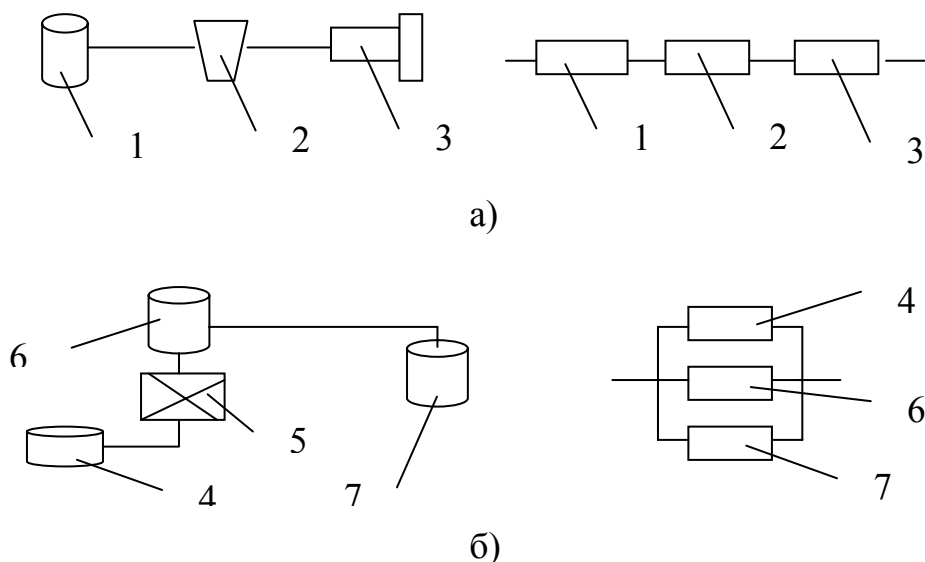
Таблица 4 – Исходные данные для расчета допустимого значения диагностического параметра

Вариант задания	Наименование параметра	S_{cp}	σ	Ед. измер.
1	Тормозной путь	12	1,2	м
2	Тормозная сила	540	54	н
3	Суммарный люфт в рулевом управлении	8	0,4	град
4	Расход топлива	9	1,2	л/100 км
5	Прорыв газов в картер двигателя	30	6	л/мин
6	Производительность топливного насоса	120	11	л/мин
7	Зазор в клапанном механизме	0,15	0,01	мм
8	Люфт в карданной передаче	6	0,7	град
9	Напряжение в бортовой сети автомобиля	13,7	0,4	вольт
10	Мощность двигателя	54	4	кВт
11	Сила света фар в режиме дальнего света	13000	115	кд
12	Давление начала распыла топлива форсункой дизельного двигателя	20	0,4	МПа
13	Угловой люфт в коробке передач на четвертой передаче	15	3	град
14	Разрежение во впускном трубопроводе	560	52	мм.рт.ст.
15	Радиальный зазор в шкворневом соединении	0,8	0,1	мм
16	Толщина тормозной накладки	17	4	мм
17	Крутящий момент на ведущих колесах	2000	115	нм
18	Утечки воздуха из контура тормозной системы с пневматическим приводом	0,4	0,08	МПа/30мин
0	Давление в системе смазки двигателя	300	70	кПа

4.5 Расчет надежности тормозной системы автомобиля

В данном разделе курсовой работы расчет вероятности безотказной работы заданной системы проводится из предположения, что все элементы данной системы являются независимыми элементами.

Надежность любой системы автомобиля, состоящей из заданного числа элементов, зависит не только от надежности каждого из них, но и от способа их соединения. Анализ схемы соединения топливных фильтров системы питания двигателя (рисунок 2а), например, включающей фильтр–отстойник 1, фильтры бензонасоса 2 и карбюратора 3, показывает, что при отказе любого из них нарушается подача топлива. Такое соединение фильтров следует считать последовательным.



а – в системе питания; б – в системе смазки
Рисунок 2 – Схемы соединений фильтров.

Если вероятность безотказной работы каждого из фильтров равна P_1, P_2, P_3 , то вероятность безотказной работы системы очистки топлива в целом определяется из выражения:

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3. \quad (17)$$

Система смазки двигателя включает в себя также три фильтра: маслозаборника 4 масляного насоса 5, грубой очистки 6 и тонкой очистки 7 (рис.1.1б). Фильтры работают независимо один от другого, и засорение любого из них не отражается на работе остальных. Такое включение фильтров следует считать параллельным. Вероятность безотказной работы фильтров при такой системе их соединения определяется по формуле:

$$P=1 -(1 - P_4) \cdot (1 - P_6) \cdot (1 - P_7), \quad (18)$$

где P_4, P_6, P_7 – вероятности безотказной работы фильтров в маслозаборнике, фильтрах грубой и тонкой очистки масла соответственно.

Анализ последней формулы показывает, что параллельное соединение элементов значительно повышает безотказную работу, а следовательно и надежность всей системы. Поэтому параллельное включение элементов системы является основой весьма важного метода повышения надежности – структурного резервирования.

Резервирование – это метод повышения надежности объекта введением избыточности, т.е. дополнительных средств и возможностей сверх минимально необходимых для выполнения объектом заданных функций. Если избыточность достигается использованием избыточных элементов структуры объекта, то такое резервирование называют структурным.

При структурном резервировании конструктивные элементы могут быть основными и резервными. Основным называют элемент структуры объекта, минимально необходимый для выполнения объектом заданных

функций. Резервный элемент предназначается для обеспечения работоспособности объекта в случае отказа основного элемента.

Использование структурной избыточности ведет к усложнению системы, ее удорожанию. Поэтому к такому виду резервирования в автомобильной технике прибегают в системах, отказы которых приводят к аварийным ситуациям: рулевые управления, тормозные системы.

Расчет производится в следующей последовательности:

- разработать структурную схему системы согласно заданию или выбрать по варианту;
- выбрать значения вероятностей безотказной работы элементов в соответствии с заданием;
- произвести расчет безотказности системы по изложенной ниже методике.

На рисунке 3 представлена принципиальная схема тормозной системы автомобиля с гидравлическим приводом.

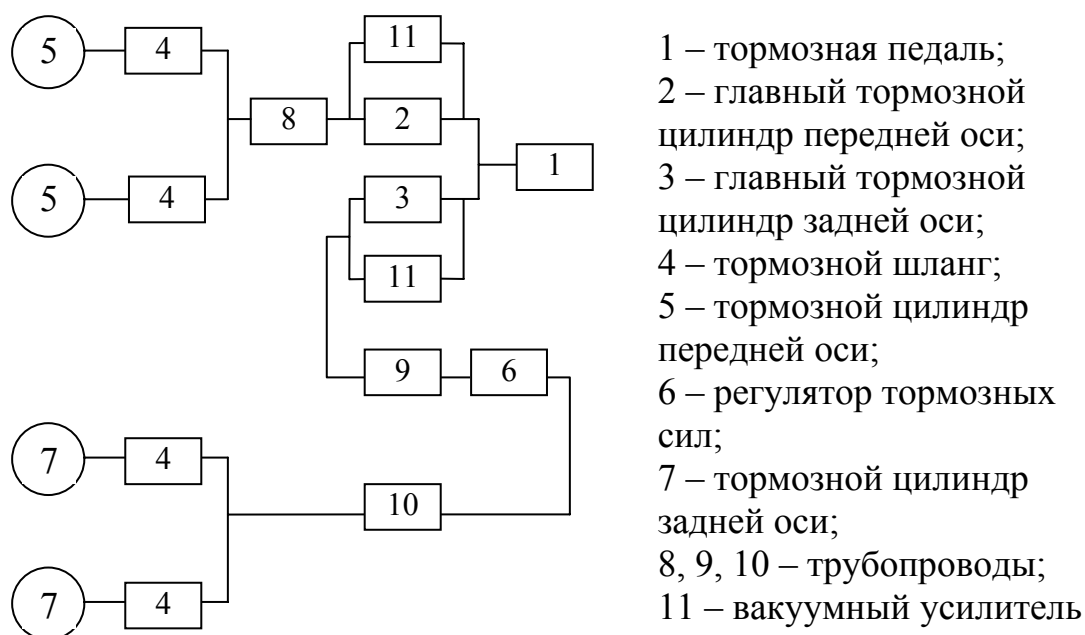


Рисунок 3 – Принципиальная схема тормозной системы

Для принципиальной схемы разрабатывается структурная схема, отражающая соединение элементов с точки зрения надежности. Структурная схема представлена на рисунке 4.

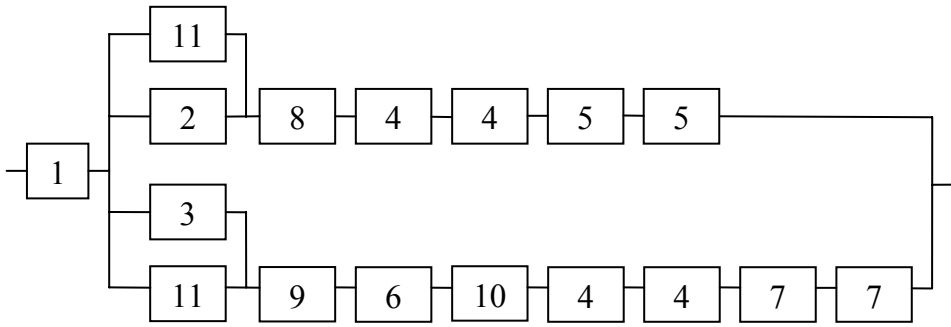
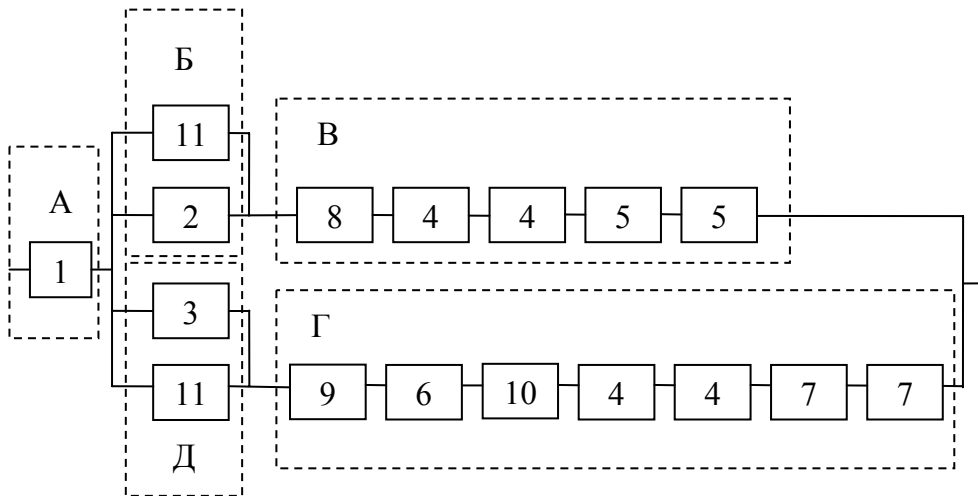


Рисунок 4 – Структурная схема тормозной системы

С целью упрощения расчетов необходимо разбить структурную схему на блоки с последовательными и параллельными соединениями.



$$P_A = P_1$$

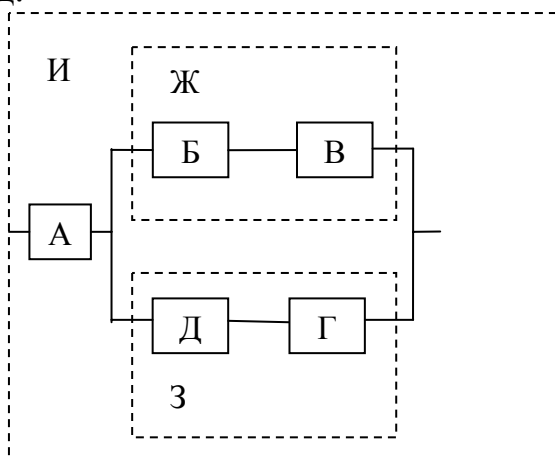
$$P_B = 1 - (1 - P_2)(1 - P_{11})$$

$$P_D = 1 - (1 - P_3)(1 - P_{11})$$

$$P_B = P_8 \cdot P_4 \cdot P_4 \cdot P_5 \cdot P_5$$

$$P_G = P_9 \cdot P_6 \cdot P_{10} \cdot P_4 \cdot P_4 \cdot P_7 \cdot P_7$$

После последующего упрощения структурная схема примет следующий вид.



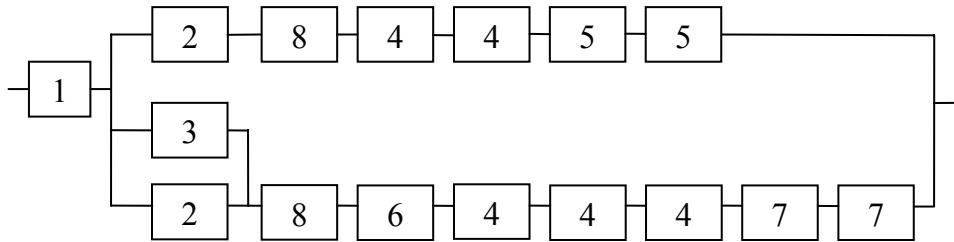
$$P_{Ж} = P_B \cdot P_B$$

$$P_3 = P_D \cdot P_G$$

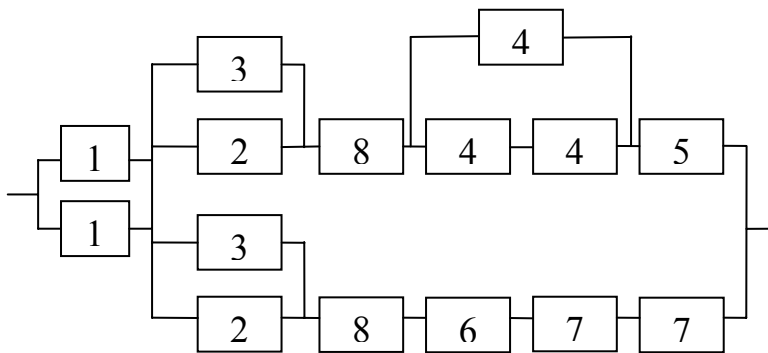
$$P_{И} = P_A \cdot (1 - (1 - P_{Ж})(1 - P_3))$$

Таблица 5 – Варианты структурных схем тормозных механизмов

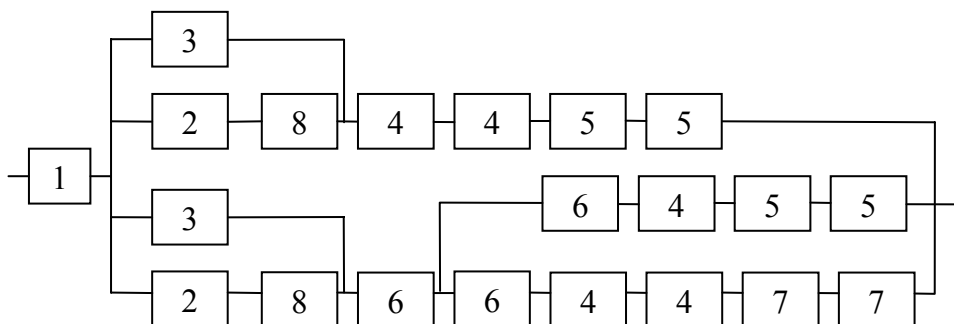
Номер варианта задания	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Номер варианта структурной схемы	1	2	3	4	1	2	3	4	1	
Номер варианта задания	10	11	12	13	14	15	16	17	18	0
Номер варианта структурной схемы	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3



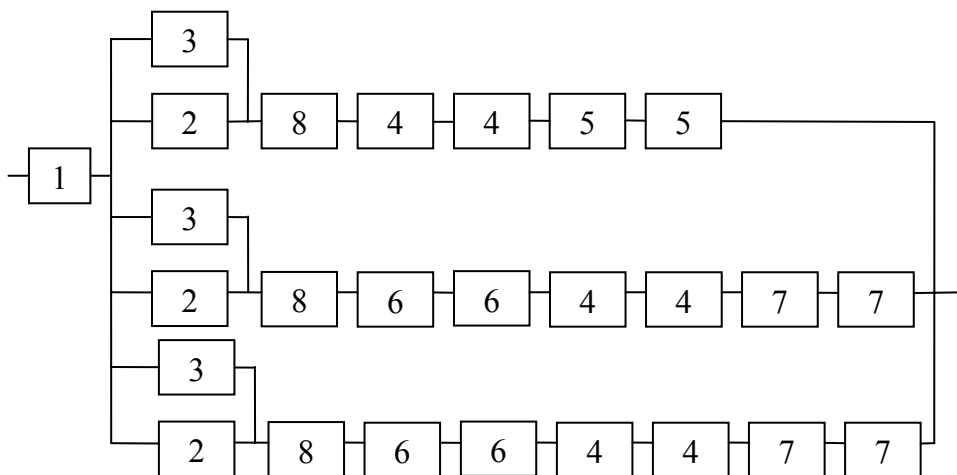
Структурная схема № 1



Структурная схема № 2



Структурная схема № 3



Структурная схема № 4

Исходные данные для расчета системы выбираются из таблицы 6.

Таблица 6 – Значения вероятностей безотказной работы элементов структурной схемы

Номер элемента	1	2	3	4	5	6	7	8
Вариант задания								
1	0,99	0,97	0,98	0,93	0,92	0,89	0,68	0,92
2	0,97	0,98	0,95	0,95	0,96	0,91	0,92	0,94
3	0,94	0,99	0,97	0,96	0,94	0,84	0,86	0,75
4	0,93	0,95	0,95	0,94	0,97	0,81	0,83	0,84
5	0,99	0,93	0,94	0,97	0,98	0,92	0,87	0,85
6	0,97	0,91	0,95	0,94	0,94	0,81	0,82	0,87
7	0,91	0,97	0,97	0,95	0,93	0,83	0,81	0,87
8	0,94	0,98	0,94	0,96	0,95	0,95	0,83	0,88
9	0,95	0,96	0,95	0,92	0,97	0,91	0,84	0,85
10	0,96	0,95	0,97	0,94	0,91	0,81	0,87	0,89
11	0,97	0,94	0,98	0,97	0,92	0,89	0,90	0,88
12	0,98	0,93	0,90	0,97	0,94	0,92	0,91	0,87
13	0,99	0,92	0,92	0,94	0,98	0,87	0,85	0,83
14	0,96	0,91	0,94	0,92	0,97	0,81	0,92	0,94
15	0,92	0,97	0,91	0,97	0,98	0,82	0,91	0,85
16	0,91	0,98	0,98	0,97	0,96	0,84	0,79	0,86
17	0,98	0,95	0,99	0,98	0,95	0,82	0,88	0,87
18	0,95	0,96	0,97	0,96	0,97	0,92	0,92	0,91
0	0,94	0,92	0,94	0,93	0,91	0,90	0,83	0,84

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов. 4-е изд. перераб. и дополн./Под ред. Е.С. Кузнецова. – М.: Наука, 2001; 2004. – 535 с.
2. Зорин В.А., Бочаров В.С. Надежность машин: Учебник. – Орел: Изд. ОрелГТУ, 2003. – 549 с.
3. Ротенберг Р.В. Основы надежности системы водитель – автомобиль – дорога – среда. – М.: Машиностроение, 1986. – 216 с.
4. Мирошников Л.В. и др. Диагностирование технического состояния автомобилей на автотранспортных предприятиях. М.: Транспорт, 1977.–263с.
5. Керимов Ф.Ю. Методические указания по лабораторному практикуму курса “Теоретические основы сбора и обработки информации о надежности машин”. – М.: МАДИ, 1980. – 121 с.
6. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов/Под ред. Г.В.Крамаренко. – М.: Транспорт, 1983. – 488 с.
7. Шарыпов А.В., Осипов Г.В. Основы теории надежности транспортных систем: Учеб. пособие. – Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006. – 128 с.
8. Автомобили КамАЗ. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. – М.: Машиностроение, 1981. – 448 с.
9. Васильев В.И., Рыбин Н.Н., Сафронов И.А. Методические указания к выполнению курсовой работы по “Технической эксплуатации автомобилей”.- Курган: КМИ, 1991. – 26 с.
10. Михлин В.М. Прогнозирование технического состояния машин. – М.: Колос, 1976. – 288 с.

Приложение А

РАСЧЕТ ЭМПИРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Таблица 7 – Исходные данные наработок на отказ, км

63675	56325	42675	67875	61575	71025	79425	69975	46875
59475	58425	69975	33225	71025	60925	51075	66825	86775
51075	24825	36375	46875	63075	87975	50025	37425	48975
55275	73125	48975	36375	46875	65775	77325	43725	75225
67875	68925	88875	65775	87525	39525	65775	87825	45825
55975	59475	66895	54225	60525	60525	54975	45825	53175
41625	59475	27975	64725	57375	67875	55275	88925	54225
47925	96225	65775	53175	66898	79425	68925	40575	60525
88875	76275	80475	43725	66825	35325	56325	78375	76275
35325	65925	81525	36375	57375	72075	46875	40575	51075

Расположить наработки в порядке возрастания.

Таблица 8 – Исходные данные в порядке возрастания

24825	40575	46875	53175	57375	63075	67875	71025	80475
27975	40575	46875	54225	58425	63675	67875	72075	81525
33225	41625	47925	54225	59475	64725	67875	73125	86775
35324	42675	48975	54975	59475	65775	67875	75225	87525
35325	43725	48975	55275	59475	65775	67875	76275	87825
36375	43725	50025	55275	60525	65775	68925	76275	87975
36375	45820	51075	55975	60525	65775	68925	77325	88875
36375	45825	51075	56325	60525	65925	69975	78375	88875
37425	46875	51075	56325	60925	66825	69975	79425	89925
39525	46875	53175	57375	61575	66825	71025	79425	96225

Определить количество интервалов группирования по формуле 1.

$$r = 1,15 \left[0,42(N - 1)^2 \right]^{0,27} = 1,15 \left[0,42(90 - 1)^2 \right]^{0,27} = 10,272$$

Округляем количество интервалов в меньшую сторону и принимаем равным десяти.

Определим максимальное и минимальное значения наработок в выборке и рассчитаем ширину интервала группирования формуле 2.

$$l_{\min} = 24825 \text{ км.}$$

$$l_{\max} = 96225 \text{ км.}$$

$$\Delta l = \frac{l_{\max} - l_{\min}}{r} = \frac{96225 - 24825}{10} = 7140 \text{ км.}$$

Определить границы интервалов. Минимальное значение является началом границы первого интервала $l_1 = 24825$ км. Начало границы второго и окончание первого интервала определяется следующим образом:

$$l_2 = l_1 + \Delta l = 24825 + 7140 = 31965 \text{ км.}$$

Границы последующих интервалов определяются аналогичным образом:

$$l_3 = l_2 + \Delta l = 31965 + 7140 = 39105 \text{ км};$$

$$l_4 = l_3 + \Delta l = 39105 + 7140 = 46245 \text{ км};$$

$$l_5 = l_4 + \Delta l = 46245 + 7140 = 53385 \text{ км};$$

$$l_6 = l_5 + \Delta l = 53385 + 7140 = 60525 \text{ км};$$

$$l_7 = l_6 + \Delta l = 60525 + 7140 = 67665 \text{ км};$$

$$l_8 = l_7 + \Delta l = 67665 + 7140 = 74805 \text{ км};$$

$$l_9 = l_8 + \Delta l = 74805 + 7140 = 81945 \text{ км};$$

$$l_{10} = l_9 + \Delta l = 81945 + 7140 = 89805 \text{ км};$$

Десятый интервал заканчивается значением:

$$l_{10} + \Delta l = 89805 + 7140 = 96225 \text{ км}.$$

Определить количество данных (m_j), попавших в выбранные интервалы.

Таблица 9 – Распределение наработок по интервалам

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
24825	33225	39525	46875	54225	60925	67875	75225	86775	89925
27975	35324	40575	46875	54225	61575	67875	76275	87525	96225
	35325	40575	46875	54975	63075	67875	76275	87825	
	36375	41625	46875	55275	63675	67875	77325	87975	
	36375	42675	47925	55275	64725	67875	78375	88875	
	36375	43725	48975	55975	65775	68925	79425	88875	
	37425	43725	48975	56325	65775	68925	79425		
		45820	50025	56325	65775	69975	80475		
		45825	51075	57375	65775	69975	81525		
			51075	57375	65925	71025			
			51075	58425	66825	71025			
			53175	59475	66825	72075			
			53175	59475		73125			
				59475					
				60525					
				60525					
				60525					

Для облегчения расчета эмпирических характеристик закона распределения, расчет производится не для каждого значения в выборке, а обобщенно, для всех значений, попавших в заданный интервал по середине интервала. Для этого необходимо вычислить середину каждого интервала группирования

$$\bar{l}_j = \frac{l_j + l_{j+1}}{2}.$$

Рассчитать значение эмпирической плотности распределения вероятностей отказов $f_{эj}(l)$ для каждого интервала группирования по формуле 3.

$$f_{э1}(l) = \frac{m_1}{N\Delta l} = \frac{2}{90 \cdot 7140} = 3,112 \cdot 10^{-6},$$

$$f_{\text{э}2}(l) = \frac{m_2}{N\Delta l} = \frac{7}{90 \cdot 7140} = 1,089 \cdot 10^{-5}, \text{ и т.д.}$$

Рассчитать значение эмпирической функции распределения вероятностей отказов $F_{\text{э}j}(l)$ для каждого интервала группирования по формуле 4.

$$F_{\text{э}1}(l) = \frac{m_1}{N} = \frac{2}{90} = 0,02222,$$

$$F_{\text{э}2}(l) = \frac{m_1 + m_2}{N} = \frac{9}{90} = 0,1,$$

$$F_{\text{э}3}(l) = \frac{m_1 + m_2 + m_3}{N} = \frac{18}{90} = 0,2,$$

....

$$F_{\text{э}10}(l) = \frac{m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + \dots + m_{10}}{N} = \frac{90}{90} = 1.$$

Результаты расчетов сводим в таблицу.

Таблица 10 – Расчет эмпирических характеристик

Номер интервала j	Границы интервалов $l_j; l_{j+1}$	Середина интервала \bar{l}_j	m_j	$f_{\text{э}j}(l)$	$F_{\text{э}j}(l)$
1	24825 – 31965	28395	2	$3,112 \cdot 10^{-6}$	0,0222
2	31965 – 39105	35535	7	$1,089 \cdot 10^{-5}$	0,1
3	39105 – 46245	42675	9	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,2
4	46245 – 53385	49815	13	$2,023 \cdot 10^{-5}$	0,3444
5	53385 – 60525	56955	17	$2,645 \cdot 10^{-5}$	0,5333
6	60525 – 67665	64095	12	$1,867 \cdot 10^{-5}$	0,6666
7	67665 – 74805	71235	13	$2,023 \cdot 10^{-5}$	0,8111
8	74805 – 81945	78375	9	$1,4 \cdot 10^{-5}$	0,9111
9	81945 – 89805	85875	6	$9,337 \cdot 10^{-6}$	0,9777
10	89805 – 96225	93015	2	$3,112 \cdot 10^{-6}$	1

По результатам расчета эмпирических характеристик из таблицы 10 строим гистограмму распределения наработок на отказ $m_j(l)$, функцию и плотность распределения вероятностей отказов $f_{\text{э}j}(l)$, $F_{\text{э}j}(l)$.

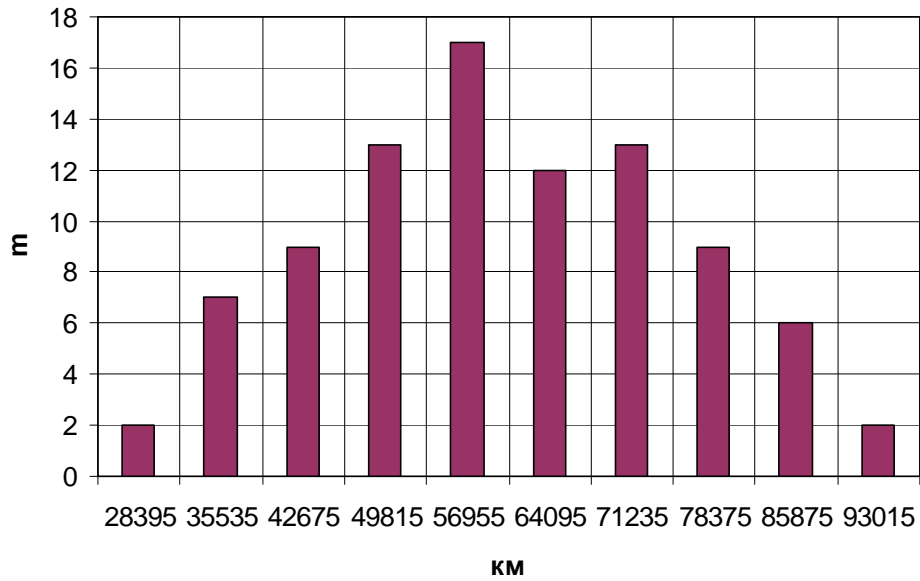


Рисунок 1 – Распределение наработок до отказа

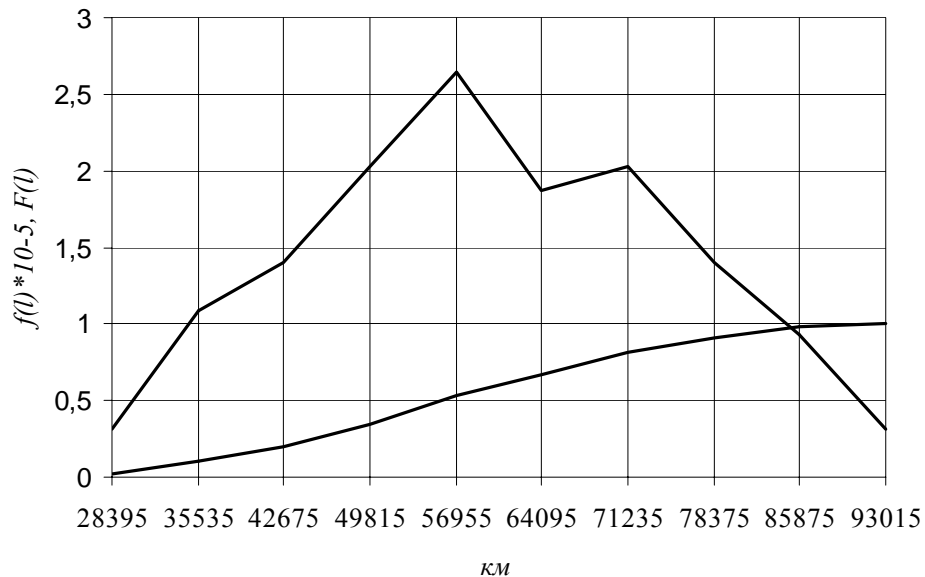


Рисунок 2 – Функция и плотность распределения отказов

Используя данные из таблицы 10, вычислить оценку математического ожидания выборки по формуле 5:

$$\bar{l} = \frac{1}{90} \left(28395 \cdot 2 + 35535 \cdot 7 + 42675 \cdot 9 + 49815 \cdot 13 + 56955 \cdot 17 + 64095 \cdot 12 + 71235 \cdot 13 + 78375 \cdot 9 + 85875 \cdot 6 + 93015 \cdot 2 \right) = 60081 \text{ км} .$$

Определим оценку среднего квадратического отклонения $\bar{\sigma}$ по формуле 6.

Для первого интервала группирования:

$$(\bar{l} - \bar{l}_1)^2 \frac{m_1}{N} = (60081 - 28395)^2 \frac{2}{90} = 22311168 .$$

Для последующих интервалов расчет производится аналогичным образом:

- 2) $(60081 - 35535)^2 \cdot 7/90 = 46861587$;
- 3) $(60081 - 42675)^2 \cdot 9/90 = 30296883$;
- 4) $(60081 - 49815)^2 \cdot 13/90 = 15223109$;
- 5) $(60081 - 56955)^2 \cdot 17/90 = 1845799$;
- 6) $(60081 - 64095)^2 \cdot 12/90 = 2148293$;
- 7) $(60081 - 71235)^2 \cdot 13/90 = 17970581$;
- 8) $(60081 - 78375)^2 \cdot 9/90 = 33467044$;
- 9) $(60081 - 85875)^2 \cdot 6/90 = 44355362$;
- 10) $(60081 - 93015)^2 \cdot 2/90 = 24103297$.

$$\bar{\sigma} = \sqrt{\sum (\bar{l} - \bar{l}_j)^2 \frac{m_j}{N}} = 15446 \text{ км.}$$

Вычисляем оценку коэффициента вариации по формуле 7:

$$\bar{v} = \frac{\bar{\sigma}}{\bar{l}} = \frac{15446}{60081} = 0,257.$$

ПРОВЕРКА ГИПОТЕЗЫ О ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ДАННЫХ НОРМАЛЬНОМУ ЗАКОНУ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ

Рассчитаем центрированные и нормированные отклонения середин интервалов по формуле 8:

$$y_1 = \frac{\bar{l}_1 - \bar{l}}{\bar{\sigma}} = \frac{28395 - 60081}{15446} = -2,0514;$$

$$y_2 = -1,59 ; y_3 = -1,13 ; y_4 = -0,66 ; y_5 = 0,2 ; y_6 = 0,26 ;$$

$$y_7 = 0,72 ; y_8 = 1,18 ; y_9 = 1,67 ; y_{10} = 2,13.$$

Определим табличную плотность вероятностей нормированного распределения $f_0(y_j)$, используя данные таблицы П1 Приложения Б. Фрагмент приведен в таблице 11.

Таблица 11 – Фрагмент таблицы П1 приложения Б

y_j		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,9	0,0	6562	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2,0	0,0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2,1	0,0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2,2	0,0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898

Для первого интервала при $y_1 = -2,0514$ значение $f_0(y_1) = 0,04879$.

Для следующих интервалов:

$$\begin{aligned} f_0(y_2) &= 0,1127; & f_0(y_3) &= 0,2107; & f_0(y_4) &= 0,3209; & f_0(y_5) &= 0,3910; \\ f_0(y_6) &= 0,3857; & f_0(y_7) &= 0,3079; & f_0(y_8) &= 0,1989; & f_0(y_9) &= 0,0989; \\ f_0(y_{10}) &= 0,04128. \end{aligned}$$

Рассчитаем значение теоретической плотности распределения вероятностей отказов по формуле 9.

$$\text{Для первого интервала } -f_1(l) = \frac{f_0(|y_1|)}{\bar{\sigma}} = \frac{0,0957}{15446} = 0,316 \cdot 10^{-5}.$$

$$\begin{aligned} \text{Для последующих интервалов } -f_2(l) &= 0,729 \cdot 10^{-5}, & f_3(l) &= 1,364 \cdot 10^{-5}, \\ f_4(l) &= 2,077 \cdot 10^{-5}, & f_5(l) &= 2,531 \cdot 10^{-5}, & f_6(l) &= 2,497 \cdot 10^{-5}, & f_7(l) &= 1,993 \cdot 10^{-5}, \\ f_8(l) &= 1,288 \cdot 10^{-5}, & f_9(l) &= 0,64 \cdot 10^{-5}, & f_{10}(l) &= 0,267 \cdot 10^{-5}. \end{aligned}$$

Заносим результаты расчетов в таблицу 2.

Теоретическая величина функции распределения отказов вычисляется с использованием табличных значений функции Лапласа $\Phi(y_j)$ по формуле 10.

$\Phi(y_j)$ – выбирается из таблицы П2 Приложения Б.

При этом $\Phi(-y_j) = -\Phi(y_j)$.

$$F_1(l) = 0,5 + 0,5\Phi(y_1) = 0,5 + 0,5\Phi(-2,0514) = 0,5 - 0,5 \cdot 0,95964 = 0,02$$

$$F_2(l) = 0,056; \quad F_3(l) = 0,129; \quad F_4(l) = 0,255; \quad F_5(l) = 0,421; \quad F_6(l) = 0,603;$$

$$F_7(l) = 0,761; \quad F_8(l) = 0,881; \quad F_9(l) = 0,953; \quad F_{10}(l) = 0,983$$

Для вычисления значения критерия согласия χ^2 необходимо вычислить вероятность попадания данных в j-й интервал.

$$P_1 = f_1(l)\Delta l = 0,316 \cdot 10^{-5} \cdot 7140 = 0,0225$$

$$P_2 = 0,052; \quad P_3 = 0,097; \quad P_4 = 0,148; \quad P_5 = 0,18; \quad P_6 = 0,178; \quad P_7 = 0,142;$$

$$P_8 = 0,092; \quad P_9 = 0,046; \quad P_{10} = 0,019$$

Вычислим значение критерия согласия χ^2 по формуле 11:

$$\begin{aligned} \chi^2 &= \sum_{j=1}^r \frac{(m_j - NP_j)^2}{NP_j} = \frac{(2 - 90 \cdot 0,0225)^2}{90 \cdot 0,0225} + \frac{(7 - 90 \cdot 0,052)^2}{90 \cdot 0,052} + \\ &+ \frac{(9 - 90 \cdot 0,097)^2}{90 \cdot 0,097} + \frac{(13 - 90 \cdot 0,148)^2}{90 \cdot 0,148} + \frac{(17 - 90 \cdot 0,18)^2}{90 \cdot 0,18} + \\ &+ \frac{(10 - 90 \cdot 0,178)^2}{90 \cdot 0,178} + \frac{(14 - 90 \cdot 0,142)^2}{90 \cdot 0,142} + \frac{(10 - 90 \cdot 0,092)^2}{90 \cdot 0,092} + \\ &+ \frac{(3 - 90 \cdot 0,046)^2}{90 \cdot 0,046} + \frac{(4 - 90 \cdot 0,019)^2}{90 \cdot 0,019} = 3,186 \end{aligned}$$

Для определения табличного значения критерия $(\chi^*)^2$ по таблице ПЗ Приложения рассчитаем число степеней свободы K :

$$K = 10 - 2 - 1 = 7$$

Из таблицы П4 Приложения Б определяем степень доверительной вероятности согласия данного закона распределения.

Таблица 12 – Фрагмент таблицы П4 Приложения Б

κ	Вероятность γ							
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20
6	0,87	1,63	2,2	3,07	3,83	5,35	7,2	8,6
7	1,24	2,17	2,83	3,82	4,67	6,34	8,4	9,8
8	1,65	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,5	11,0

Вероятность согласия составляет 0,8–0,9, что указывает на принадлежность распределения данных к нормальному закону распределения.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПЕРИОДИЧНОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ

По данным, полученным в результате обработки экспериментальных значений, вычислим оптимальную периодичность проведения технического обслуживания технико–экономическим и экономико–вероятностным методами по формулам 13 и 16.

При определении технико–экономическим методом:
для систем, обеспечивающих безопасность движения

$$l_{TO} = \beta_1 \bar{l} = 0,6 \cdot 60081 = 36049 \text{ км};$$

для систем, не влияющих на безопасность движения

$$l_{TO} = \beta_1 \bar{l} = 0,74 \cdot 60081 = 44460 \text{ км}.$$

При определении экономико–вероятностным методом

$$\beta_2 = \left[\frac{2(d/c)v}{(1+v^2)(1-v)} \right]^v = \left[\frac{2 \cdot (50/150) \cdot 0,257}{(1+0,257^2) \cdot (1-0,257)} \right]^{0,257} = 0,6747$$

$$l_{TO} = \beta_2 \bar{l} = 0,6747 \cdot 60081 = 40537 \text{ км}.$$

Приложение Б

Таблица П1 – Значения $f_0(y_j)$

y_j		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	3989	3989	3989	3988	3989	3984	3982	3980	3977	3973
0,1	0,	3970	3965	3961	3956	3951	3945	3939	3932	3925	3918
0,2	0,	3910	3902	3894	3885	3876	3867	3857	3847	3836	3825
0,3	0,	3814	3802	3790	3778	3765	3752	3739	3726	3712	3697
0,4	0,	3683	3668	3653	3637	3621	3605	3589	3572	3555	3538
0,5	0,	3521	3503	3485	3467	3448	3429	3410	3391	3372	3352
0,6	0,	3332	3312	3292	3271	3251	3230	3209	3187	3166	3144
0,7	0,	3123	3101	3079	3056	3034	3011	2989	2966	2943	2920
0,8	0,	2897	2874	2850	2827	2803	2780	2756	2732	2709	2685
0,9	0,	2661	2637	2613	2589	2565	2541	2516	2492	2468	2444
1,0	0,	2420	2396	2371	2347	2323	2299	2275	2251	2227	2203
1,1	0,	2179	2155	2131	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	0,	1942	1919	1895	1872	1849	1826	1804	1781	1758	1736
1,3	0,	1714	1691	1669	1647	1626	1604	1582	1561	1539	1518
1,4	0,	1497	1476	1456	1435	1415	1394	1374	1354	1334	1315
1,5	0,	1295	1276	1257	1238	1219	1200	1182	1163	1145	1127
1,6	0,	1109	1092	1074	1057	1040	1023	1006	0989	0973	0957
1,7	0,0	9405	9246	9089	8933	8780	8628	8478	8329	8183	8038
1,8	0,0	7895	7754	7614	7477	7341	7206	7074	6943	6814	6687
1,9	0,0	6562	6438	6316	6195	6077	5959	5844	5730	5618	5508
2,0	0,0	5399	5292	5186	5082	4980	4879	4780	4682	4586	4491
2,1	0,0	4398	4307	4217	4128	4041	3955	3871	3788	3706	3626
2,2	0,0	3547	3470	3394	3319	3246	3174	3103	3034	2965	2898
2,3	0,0	2833	2768	2705	2643	2582	2522	2463	2406	2349	2294
2,4	0,0	2239	2186	2134	2083	2033	1984	1936	1888	1842	1797
2,5	0,0	1753	1709	1667	1625	1585	1545	1506	1468	1431	1394
2,6	0,0	1358	1324	1289	1256	1213	1194	1160	1130	1100	1071
2,7	0,0	1042	1014	0987	0961	0935	0900	0885	0861	0837	0814
2,8	0,00	7915	7696	7483	7274	7071	6873	6679	6491	6307	6127
2,9	0,00	5952	5782	5616	5454	5296	5143	4993	4847	4705	4567
3,0	0,00	4432	4301	4173	4049	3928	3810	3695	3584	3475	3370
3,1	0,00	3432	3267	2384	1723	1232	0873	0612	0425	0292	0199
4,0	0,0 ³	1338	0893	0589	0385	0249	0160	0101	0064	0040	0024
5,0	0,0 ⁵	1487	0897	0536	0317	0186	0108	0062	0035	0020	0011

Таблица П2 – Значения функции $\Phi(y_j)$

y_j		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	0000	0080	0159	0239	0319	0399	0478	0558	0638	0717
0,1	0,	0797	0876	0955	1034	1113	1192	1271	1350	1428	1507
0,2	0,	1585	1663	1741	1819	1897	1974	2051	2128	2205	2282
0,3	0,	2358	2434	2510	2586	2661	2737	2812	2886	2960	3035
0,4	0,	3108	3192	3255	3328	3401	3473	3545	3616	3688	3759
0,5	0,	3829	3900	3969	4039	4108	4177	4245	4313	4381	4448
0,6	0,	4515	4581	4646	4713	4778	4843	4908	4971	5035	5098
0,7	0,	5161	5223	5385	5346	5407	5468	5527	5587	5646	5705
0,8	0,	5763	5821	5878	5935	5991	6047	6102	6157	6211	6265
0,9	0,	6319	6372	6424	6476	6528	6579	6629	6680	6729	6778
1,0	0,	6827	6875	6923	6970	7017	7063	7109	7154	7199	7243
1,1	0,	7287	7330	7373	7415	7457	7499	7539	7580	7620	7660
1,2	0,	7699	7737	7775	7812	7850	7887	7923	7959	7994	8030
1,3	0,	8064	8098	8132	8165	8197	8230	8262	8293	8324	8355
1,4	0,	8385	8415	8444	8473	8501	8529	8557	8584	8611	8638
1,5	0,	8664	8689	8715	8740	8764	8789	8812	8836	8859	8882
1,6	0,	8904	8926	8948	8969	8990	9011	9031	9051	9070	9090
1,7	0,9	1087	1273	1457	1637	1714	1988	2159	2327	2492	2655
1,8	0,9	2814	2970	3124	3275	3423	3569	3711	3852	3989	4224
1,9	0,9	4257	4387	4514	4639	4762	4882	5000	5116	5230	5341
2,0	0,9	5450	5557	5662	5764	5865	5964	6060	6155	6247	6338
2,1	0,9	6427	6514	6599	6683	6765	6844	6926	6999	7074	7148
2,2	0,9	7219	7289	7358	7425	7491	7555	7619	7679	7739	7798
2,3	0,9	7855	7911	7965	8019	8072	8123	8172	8221	8260	8315
2,4	0,9	8360	8405	8448	8490	8531	8571	8611	8649	8686	8723
2,5	0,9	8758	8793	8826	8859	8891	8923	8953	8983	9012	9040
2,6	0,9	9068	9095	9121	9146	9171	9195	9219	9241	9263	9285
2,7	0,9	9307	9327	9347	9367	9386	9404	9422	9439	9456	9473
2,8	0,9	9489	9505	9520	9535	9549	9563	9576	9590	9602	9615
2,9	0,9	9627	9639	9647	9655	9663	9671	9679	9686	9693	9700
3,0	0,9	9730	9739	9747	9755	9763	9771	9779	9786	9793	9800
3,1	0,9	9806	9813	9819	9825	9831	9837	9842	9846	9853	9858
3,2	0,9	9863	9867	9872	9876	9880	9885	9889	9892	9896	9900
3,3	0,9	9903	9907	9910	9912	9914	9919	9922	9925	9928	9930
3,4	0,9	9933	9935	9937	9940	9942	9944	9946	9948	9950	9952
3,5	0,9	9953	9955	9957	9958	9960	9961	9963	9964	9966	9967
3,6	0,9	9968	9969	9971	9972	9973	9974	9975	9976	9977	9978
3,7	0,9	9978	9979	9980	9981	9982	9982	9983	9984	9984	9985
3,8	0,9	9986	9986	9987	9987	9988	9988	9989	9989	9990	9990
3,9	0,99	9904	9908	9911	9915	9919	9922	9925	9928	9931	9934
4,0	0,99	9937	9939	9942	9944	9946	9949	9951	9953	9955	9957
4,1	0,99	9959	9960	9962	9964	9965	9967	9968	9969	9971	9972
4,2	0,99	9973	9974	9976	9977	9978	9979	9980	9980	9981	9982
4,3	0,99	9983	9984	9984	9985	9986	9986	9987	9988	9988	9989

Таблица ПЗ – Значение χ^2 в зависимости от доверительной вероятности γ и числа степени свободы k

k	Вероятность γ							
	0,99	0,95	0,90	0,80	0,70	0,50	0,30	0,20
1	0,00016	0,0039	0,016	0,064	0,148	0,455	1,07	1,64
2	0,020	0,103	0,211	0,446	0,713	1,386	2,41	3,22
3	0,115	0,352	0,584	1,005	1,424	2,366	3,66	4,64
4	0,30	0,71	1,06	1,65	2,19	3,36	4,9	6,0
5	0,55	1,14	1,61	2,34	3,00	4,35	6,1	7,3
6	0,87	1,63	2,2	3,07	3,83	5,35	7,2	8,6
7	1,24	2,17	2,83	3,82	4,67	6,34	8,4	9,8
8	1,65	2,73	3,49	4,59	5,53	7,34	9,5	11,0
9	2,09	3,32	4,17	5,38	6,39	8,35	10,7	12,2
10	2,56	3,94	4,86	6,18	7,27	9,34	11,8	13,4
11	3,1	4,6	5,6	7,0	8,1	10,3	12,9	14,6
12	3,6	5,2	6,3	7,8	9,0	11,3	14,0	15,8
13	4,1	5,9	7,0	8,6	9,9	12,3	15,1	17,0
14	4,7	6,6	7,8	9,5	10,8	13,3	16,2	18,2
15	5,2	7,3	8,5	10,3	11,7	14,3	17,3	19,3
16	5,8	8,0	9,0	11,2	12,6	15,3	18,4	20,5
17	6,4	8,7	10,1	12,0	13,5	16,3	19,5	21,6
18	7,0	9,4	10,9	12,9	14,4	17,3	20,6	22,8
19	7,6	10,1	11,7	13,7	15,4	18,3	21,7	23,9
20	8,3	10,9	12,4	14,6	16,3	19,3	22,8	25,0
21	8,9	11,6	13,2	15,4	17,2	20,3	23,9	26,2
22	9,5	12,3	14,0	16,3	18,1	21,3	24,9	27,3
23	10,2	13,1	14,8	17,2	19,0	22,3	26,0	28,4
24	10,9	13,8	15,7	18,1	19,9	23,3	27,1	29,6
25	11,5	14,6	16,5	18,9	20,9	24,3	28,1	30,7
26	12,2	15,4	17,3	19,8	21,8	25,3	29,3	31,8
27	12,9	16,2	18,1	20,7	22,7	26,3	30,3	32,9
28	13,6	16,9	18,9	21,6	23,6	27,3	31,4	34,0
29	14,3	17,7	19,8	22,5	24,6	28,3	32,5	35,1
30	15,0	18,5	20,6	23,4	25,5	29,3	33,5	36,3

Таблица П4 – Значения β_1

Rg	β_1 при ν			
	0.2	0.4	0.6	0.8
0.85	0.80	0.55	0.40	0.25
0.95	0.67	0.37	0.20	0.10

Осипов Георгий Владимирович
Шарыпов Александр Владимирович

ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКА
ОСНОВЫ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Методические указания
к выполнению курсовой работы
для студентов заочной формы обучения специальностей
190601 “Автомобили и автомобильное хозяйство”,
190603 “Сервис транспортных и технологических машин и оборудования
(автомобильный транспорт)”

Редактор Т.В. Тимофеева

Подписано к печати	Формат 60x84 1/16	Бумага тип. № 1
Печать трафаретная	Усл. печ.л. 1,75	Уч. изд. л. 1,75
Заказ	Тираж 100	Цена свободная

Редакционно–издательский центр КГУ.

640669 г. Курган, ул. Гоголя 25.

Курганский государственный университет.