

МЕЖГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«БЕЛОРУССКО-РОССИЙСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра «Транспортные и технологические машины»

# ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

*Методические рекомендации к практическим занятиям  
для студентов специальности 1-37 01 06  
«Техническая эксплуатация автомобилей» (по направлениям)»  
очной и заочной форм обучения*



Могилев 2023

УДК 691.113.004  
ББК 39.33-08  
ТЗ8

Рекомендовано к опубликованию  
учебно-методическим отделом  
Белорусско-Российского университета

Одобрено кафедрой «Техническая эксплуатация автомобилей»  
«4» октября 2023 г., протокол № 2

Составители: канд. техн. наук, доц. В. П. Лобах;  
канд. техн. наук, доц. Н. А. Коваленко

Рецензент ст. преподаватель Ю. С. Романович

Методические рекомендации к практическим занятиям предназначены для студентов специальности 1-37 01 06 «Техническая эксплуатация автомобилей (по направлениям)» очной и заочной форм обучения.

Учебное издание

## ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ АВТОМОБИЛЕЙ

Ответственный за выпуск	И. В. Лесковец
Корректор	А. А. Подошевка
Компьютерная верстка	Н. П. Полевничая

Подписано в печать . Формат 60×84 /16. Бумага офсетная. Гарнитура Таймс.  
Печать трафаретная. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л. . Тираж 46 экз. Заказ №

Издатель и полиграфическое исполнение:  
Межгосударственное образовательное учреждение высшего образования  
«Белорусско-Российский университет»/  
Свидетельство о государственной регистрации издателя,  
изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/156 от 07.03.2019.  
Пр-т Мира, 43, 212022, г. Могилев.

© Белорусско-Российский  
университет, 2023

## Содержание

Введение.....	4
1 Разработка структурно-следственной модели объекта диагностирования.....	5
2 Влияние технического состояния автомобиля на расход топлива и смазочных материалов.....	8
3 Определение вероятности отказа деталей автомобилей на основе статистической информации.....	12
4 Определение оптимальной периодичности технического обслуживания по допустимому уровню безотказности и технико- экономическим методом.....	20
5 Определение показателей эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности автомобилей.....	24
6 Определение допустимых значений параметров технического состояния.....	29
7 Применение закона Пуассона в теории массового обслуживания.....	31
8 Определение времени ремонта с применением показательного закона распределения случайной величины.....	35
Список литературы.....	37

## Введение

Одной из важнейших проблем, стоящих перед автомобильным транспортом и требующих решения, является повышение эксплуатационной надежности автотранспортных средств (АТС) и снижение затрат на их содержание.

Решение этой проблемы обеспечивается, с одной стороны, автомобильной промышленностью за счет повышения качества АТС, с другой – совершенствованием технической эксплуатации (ТЭ).

Реализация потенциальных свойств АТС, заложенных при их создании, снижение затрат на содержание, уменьшение простоев, повышение производительности при перевозках и снижение их себестоимости – основные задачи технической эксплуатации.

Для их решения необходимо знание закономерностей изменения технического состояния АТС, что позволит управлять их работоспособностью и обеспечит перевозки технически исправным подвижным составом.

Данные методические рекомендации позволят студентам закрепить полученные во время лекций знания, необходимые в дальнейшем процессе обучения, а также в последующей практической деятельности.

Каждая работа выполняется самостоятельно согласно своему варианту, который соответствует номеру студента в списке группы или по указанию преподавателя.

Перед началом выполнения работы необходимо ознакомиться с ее содержанием по методическим рекомендациям.

После выполнения работы ее необходимо защитить, представив индивидуальный оформленный отчет.

## 1 Разработка структурно-следственной модели объекта диагностирования

Эффективность работы автомобиля определяется его производительностью и себестоимостью перевозок, которые в значительной степени зависят от его технического состояния.

Своевременное проведение оценки технического состояния с помощью диагностических средств позволяет предотвратить отказы, уменьшить затраты на поддержание автомобиля в исправном состоянии.

Автомобиль (агрегат, механизм) представляет упорядоченную структуру элементов, которые определенным образом взаимодействуют между собой. Это взаимодействие может быть выражено (и измерено) физическими величинами (линейными, электрическими...), называемыми структурными параметрами или параметрами технического состояния. Совокупность отклонений от номинальных (или предельных) значений параметров технического состояния (структурных параметров) определяет исправность объекта.

Иногда измерить структурный параметр достаточно сложно или невозможно. В этом случае используют косвенный параметр, который имеет достаточно информации о техническом состоянии объекта. Прямой или косвенный параметр, позволяющий оценить техническое состояние объекта, называется диагностическим. В диагностике имеют место следующие понятия:

- диагноз – заключение о техническом состоянии объекта;
- диагностирование – процесс постановки диагноза (определения технического состояния);
- система – упорядоченная совокупность совместно действующих объектов, предназначенных для выполнения заданных функций;
- элемент – объект (часть системы), входящий в систему и выполняющий в ней заданные функции;
- параметр – качественная мера, характеризующая свойства системы, объекта, явления или процесса;
- значение параметра – количественная мера параметра;
- исправное состояние – состояние системы, при котором все параметры находятся в допустимых пределах изменения;
- неисправное состояние – состояние системы, при котором хотя бы один из основных параметров находится в недопустимых пределах изменения;
- работоспособное состояние – состояние системы, при котором ее основные параметры находятся в допустимых пределах;
- структура системы – определенная взаимосвязь, взаиморасположение составных частей (элементов), характеризующая конструкцию системы.

Для оценки технического состояния объектов используют следующие методы: определение параметров эффективности; тепловой; виброакустический; специальные; стробоскопический.

Средства диагностирования представляют технические устройства, позволяющие измерить диагностические параметры.

Структурно-следственная модель представляет логическое описание объекта диагностирования и включает несколько уровней информации:

- 1) наименование объекта;
- 2) структуру объекта;
- 3) структурные параметры;
- 4) неисправности (отклонение параметров от допустимых);
- 5) рабочие или сопутствующие процессы, соответствующие структурным параметрам;
- 6) диагностические параметры.

В качестве примера приведена модель (схема) масляного насоса двигателя на рисунке 1.1.

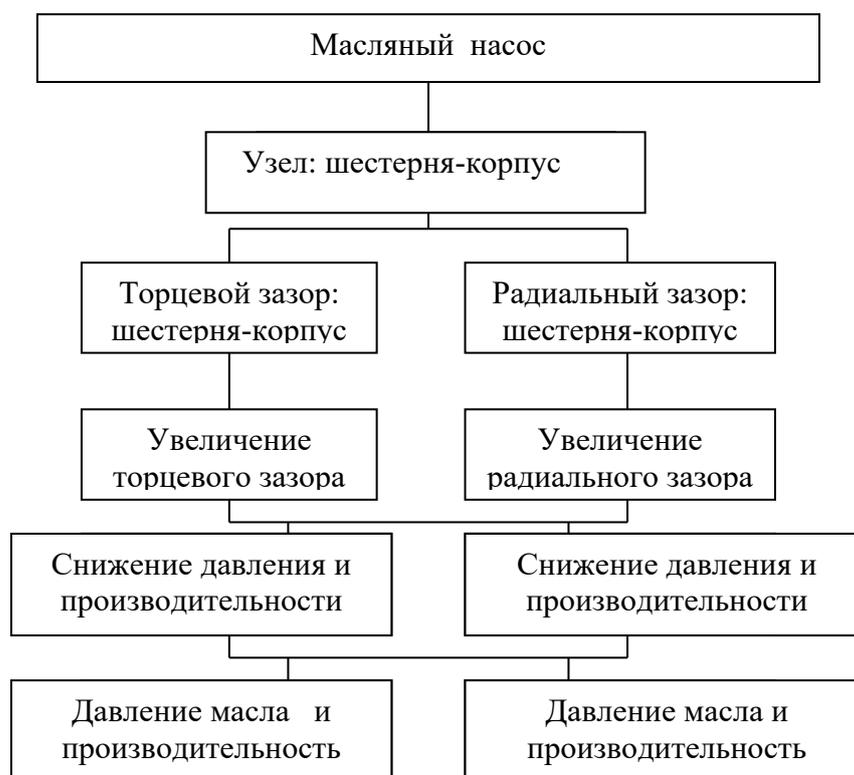


Рисунок 1.1 – Структурно-следственная модель масляного насоса (фрагмент)

Из рассмотренной модели следует, что в качестве диагностических параметров можно использовать давление масла и производительность насоса.

Пользуясь такой моделью можно выбрать оптимальные диагностические параметры, методы и средства диагностирования насоса.

### ***1.1 Цель работы***

Изучить методику составления структурно-следственной модели системы диагностирования.

## 1.2 Содержание работы

Разработать структурно-следственную модель объекта диагностирования (системы, агрегата, узла) автомобиля и определить диагностические параметры для него, предложить метод и разработать принципиальную схему средства диагностирования.

## 1.3 Методика выполнения работы

1.3.1 Выбрать вариант задания из таблицы 1.1.

Таблица 1.1 – Варианты заданий

Номер варианта	Объект разработки		
	КамАЗ-5320	ВАЗ-2110	МАЗ-5335
1, 2, 3	Система охлаждения (СО)		
4, 5, 6	Система смазывания (ССМ)		
7, 8, 9	Газораспределительный механизм (ГРМ)		
10, 11, 12	Система питания (СП)		
13, 14, 15	Рабочая тормозная система (РТС)		
16, 17, 18	Сцепление (Сц)		
19, 20, 21	Рулевое управление (РУ)		
22, 23, 24	Главная передача (ГП)		
25, 26, 27	Коробка передач (КП)		
<i>Примечание</i> – Столбцы вариантов соответствуют автомобилям КамАЗ, ВАЗ и МАЗ			

1.3.2 Разработать структурно-следственную модель выбранного объекта диагностирования по форме, представленной на рисунке 1.1.

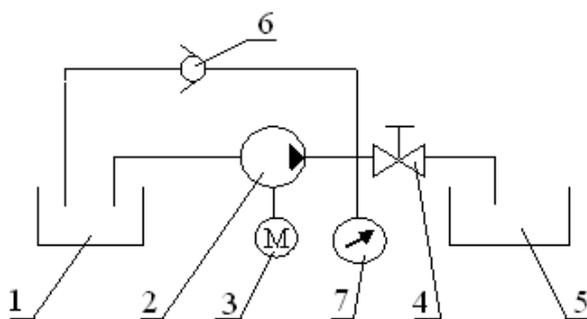
1.3.3 Заполнить таблицу 1.2 (форма).

1.3.4 Разработать принципиальную схему установки для диагностирования одного из элементов (рисунок 1.2, пример).

Таблица 1.2 – Диагностические параметры, методы и средства диагностирования масляного насоса (форма)

Элемент системы	Диагностические параметры, их значения	Метод диагностирования	Средство диагностирования
1 Масляный насос (шестерня-корпус)	Давление масла – 0,4 МПа; производительность насоса – 5 л/мин при $n = 3000 \text{ мин}^{-1}$ и $p = 0,4 \text{ МПа}$	По рабочим параметрам	Установка для определения давления и производительности насоса
2 Редукционный клапан	...	...	...
3 ...	...	...	...

1.3.5 Оформить работу согласно пп. 1.3.2–1.3.4 и защитить ее.



1 – бак; 2 – насос; 3 – электродвигатель; 4 – кран; 5 – мерный бак; 6 – обратный клапан; 7 – манометр

Рисунок 1.2 – Схема установки для диагностирования масляного насоса

### **Контрольные вопросы**

- 1 Что представляет собой структурно-следственная модель?
- 2 Для чего необходима такая модель?
- 3 Какие диагностические параметры используются для определения технического состояния элемента (см. п. 1.3.4) и его значения?

## **2 Влияние технического состояния автомобиля на расход топлива и смазочных материалов**

Расход топлива грузовым автомобилем складывается из трех составляющих: расход на движение порожнего автомобиля, расход на перевозку груза, расход на маневрирование под погрузкой и разгрузкой:

$$Q_m = H_l \frac{L}{100} \left( 1 + \frac{D}{100} \right) + H_T \frac{W}{100} + H_e \cdot Z + H_T \frac{G_{np} \cdot L}{100}, \quad (2.1)$$

где  $H_l$  – линейная норма расхода топлива, л/100 км (таблица 2.1);

$L$  – пробег автомобиля, км;

$H_T$ ,  $H_e$  – норма расхода топлива на транспортную работу, л/100 т·км и езду, л (таблица 2.2);

$D$  – надбавка, учитывающая отклонение дорожных условий, % (таблица 2.3);

$G_{np}$  – масса прицепа, т;

$W$  – грузооборот, т·км;

$Z$  – число ездов.

При эксплуатации автомобилей с прицепами (полуприцепами) линейная норма расхода топлива увеличивается на 1 т собственной массы: бензина – 2 л; дизельного топлива – 1,3 л; сжатого природного газа (СПГ) – 2 м<sup>3</sup>; сжиженного нефтяного газа (СНГ) – 2,5 л.

Таблица 2.1 – Линейная норма расхода топлива

Модель автомобиля	Норма расхода, л/100 км (м <sup>3</sup> /100 км)	Модель автомобиля	Норма расхода, л/100 км (м <sup>3</sup> /100 км)
1 КамАЗ-54118	26/6,5 (Д, СПГ)	8 ГАЗ-3302	15 (Б)
2 ЗиЛ-431810*	42 (СНГ)	9 КамАЗ-5511	34 (Д)
3 ГАЗ-3307	25 (Б)	10 ЗиЛ-441610*	41 (СНГ)
4 ГАЗ-5327*	26 (СПГ)	11 КамАЗ-53218*	25/6,5 (Д, СПГ)
5 ЗиЛ-4331	22 (Д)	12 МАЗ-5335	28 (Д)
6 ГАЗ-5307*	37 (СНГ)	13 КамАЗ-55118*	34/9 (Д, СПГ)
7 МАЗ-5551	28 (Д)	14 МАЗ-5432	27 (Д)
<i>Примечание</i> –* – работают на газообразном топливе			

Таблица 2.2 – Дополнительные нормы расхода топлива

Автомобиль	Норма расхода топлива	
	на 100 т·км	на одну езду
1 С бензиновыми двигателями	2,0 л	0,25 л
2 С дизельными двигателями	1,3 л	0,25 л
3 Работающие на сжатом газе	2,0 м <sup>3</sup>	0,25 м <sup>3</sup>
4 Работающие на сжиженном газе	2,5 л	0,3 л
5 Газодизельные	0,25 л и 1,2 м <sup>3</sup>	–

Таблица 2.3 – Надбавка, учитывающая отклонения дорожных условий

Дорожное условие	Надбавка, %
1 Для зимних условий (для различных климатических зон)	+5...+20
2 Для горных дорог	+5...+ 20
3 Для условий карьеров и сельхозработ	+ 20
4 Для междугородных маршрутов	– 15

Транспортная работа автомобиля

$$W = L \cdot g \cdot j \cdot \beta, \quad (2.2)$$

где  $L$  – пробег автомобиля, км;

$g, j, \beta$  – грузоподъемность автомобиля,  $t$ , коэффициенты использования грузоподъемности и пробега соответственно.

Для легковых автомобилей и автобусов учитывается 1-й член уравнения, для грузовых одиночных и с полуприцепами – 1-й и 2-й члены, для автопоездов с прицепами – 1, 2 и 4-й члены, для самосвалов – 1, 2 и 3-й члены.

Нормы расхода масел и смазок определяются отдельно для каждого вида (таблица 2.4). Потребность в маслах и смазках определяется также отдельно по каждому виду:

$$Q_{Mi} = \frac{Q_m \cdot H_{Mi}}{100} \cdot k, \quad (2.3)$$

где  $Q_m$  – расход топлива, л;

$H_{Mi}$  – норма расхода смазочного материала, л(кг)/100 л (м<sup>3</sup>) топлива;

$k$  – коэффициент, учитывающий возраст автомобиля и равный соответственно 0,5; 1,0; 1,2 при возрасте до 3 лет, от 3 до 8 и свыше 8 лет.

Таблица 2.4 – Норма расхода масел на 100 л (м<sup>3</sup>) расхода топлива

Смазочный материал	Автомобиль, работающий на бензине и сжиженном газе	Автомобиль, работающий на дизельном топливе
Моторные масла, л	2,4	3,2
Трансмиссионные масла, л	0,3	0,4
Специальные масла, л	0,1	0,1
Пластичные смазки, кг	0,2	0,3

Считается, что на коробки передач приходится 40 % общего объема трансмиссионных масел, на ведущие мосты – 40 %, на механизмы рулевых управлений – 20 %.

Дифференцирование пластических смазок осуществляется по следующим рекомендациям: тугоплавкие смазки (Литол 24) – 30 % от общего расхода; среднеплавкие (водостойкие) смазки (солидолы) – 60 %; специальные смазки (ЦИАТИМ-201, N-158) – 7 %; консервационные смазки (ПВК) – 3 %. Для конкретных условий эксплуатации указанные соотношения могут быть уточнены.

## 2.1 Цель работы

Изучить методику определения потребности в топливе и смазочных материалах и влиянии на их расход технического состояния автомобиля.

## 2.2 Содержание работы

Определить необходимое количество топлива и смазочных материалов для выполнения транспортной работы при исправном и неисправном состоянии автомобиля.

## 2.3 Методика выполнения работы

2.3.1 Выбрать исходные данные согласно своему варианту (таблица 2.5): модель автомобиля, пробег, коэффициенты использования пробега и грузоподъемности, норма расхода топлива, наличие прицепа, его модель, собственная масса и грузоподъемность, возраст автомобиля, неисправность, дорожные условия (см. таблицу 2.3).

Таблица 2.5– Исходные данные вариантов

Номер варианта	1 (15)	2 (16)	3 (17)	4 (18)	5 (19)	6 (20)	7 (21)
Номер модели автомобиля	1	2	3	4	5	6	7
$j$ ( $\beta$ )	0,5/1	0,6/0,9	0,7/0,8	0,8/0,7	1/0,6	0,5/0,5	0,8/0,4
Пробег, км	100/240	110/250	120/260	130/270	140/280	150/290	160/300
Прицеп	-/-	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+	+/+
Возраст автомобиля, лет	1/6	2/5	3/4	4/3	5/2	6/1	7/1
Количество отказов свеч (форсунок)	1/2	1/3	2/1	2/1	1/2	1/3	2/1
Дорожные условия	4	1	3	3	4	4	1

Продолжение таблицы 2.5

Номер варианта	8 (22)	9 (23)	10 (24)	11 (25)	12 (26)	13 (27)	14 (28)
Номер модели автомобиля	8	9	10	11	12	13	14
$j$ ( $\beta$ )	0,7/0,5	0,6/0,6	0,5/0,7	0,4/0,8	0,3/0,5	1/0,5	0,9/0,4
Пробег, км	170/310	180/320	190/330	200/340	210/350	220/360	230/370
Прицеп	+/+	+/+	-/-	+/+	+/+	+/+	-/-
Возраст автомобиля, лет	8/2	9/3	10/4	10/5	9/6	8/7	7/8
Количество отказов свеч (форсунок)	2/1	1/2	1/3	2/1	3/1	1/2	1/2
Дорожные условия	3	4	1	1	3	2	2
<p><i>Примечание</i> – В числителе и знаменателе приводятся данные для соответствующего номера варианта. Модель автомобиля выбрать из таблицы 2.1</p>							

2.3.2 Подсчитать влияние неисправности на расход топлива по формуле (2.4).

В качестве неисправности принимается отказ свеч (форсунок). При этом расход топлива увеличивается пропорционально количеству отказавших элементов:

$$H_g = 100 \cdot \frac{i}{n}, \quad (2.4)$$

где  $i$  – количество отказавших элементов (1–3);  
 $n$  – количество цилиндров двигателя.

2.3.3 Определить расход топлива по выражению (2.1) с учетом исходных данных своего варианта, а также расход моторного и трансмиссионного масел, пластичной смазки по формуле (2.3) для исправного автомобиля.

2.3.4 Определить по формулам (2.1) и (2.3) величины с учетом имеющейся неисправности автомобиля.

2.3.5 Заполнить таблицу 2.6 и сделать заключение.

2.3.6 Представить оформленный отчет и защитить работу.

Таблица 2.6 – Результаты расчетов

Наименование величины	Техническое состояние автомобиля		Увеличение расхода, л (м <sup>3</sup> ; кг)
	исправен	неисправен	
1 Линейный расход топлива, л (м <sup>3</sup> )			
2 Расход моторного масла, л			
3 Расход трансмиссионного масла, л			
4 Расход пластичной смазки, кг			

### ***Контрольные вопросы***

- 1 От каких факторов зависит расход топлива?
- 2 Пути снижения расхода топлива.
- 3 Примеры неисправностей и их влияние на расход топлива и смазочных материалов.

## **3 Определение вероятности отказа деталей автомобилей на основе статистической информации**

Отказы деталей являются случайными событиями.

Информация о вероятности отказа позволяет выявить причины отказов и закономерности их проявления. Это позволяет разрабатывать мероприятия, направленные на совершенствование конструкции изделия, применять рациональные методы технической эксплуатации автомобилей, дает информацию о качестве материально-технического обеспечения, обслуживания, ремонта и эксплуатации.

Для получения исходной информации, которая должна быть полной, своевременной, однородной и достоверной, проводят подконтрольную эксплуатацию машин. Результатом ее являются наработки на отказ  $l_1, l_2, \dots, l_n$ .

Обработка статистических данных проводится в следующей последовательности. Определяют минимальную  $l_1$  и максимальную  $l_n$  наработки на отказ. Интервал  $l_1 - l_n$  разбивается на число интервалов группирования по формуле

$$r = 1,15 \left[ 0,42(n-1)^2 \right]^{0,27}, \quad (3.1)$$

где  $n$  – число наблюдений.

Ширина (значение) каждого интервала равна

$$\Delta l = \frac{l_n - l_1}{r}. \quad (3.2)$$

Определив границы каждого интервала, находим значения их середин:

$$\bar{l}_j = \frac{l_j + (l_j + \Delta l)}{2}, \quad (3.3)$$

где  $j = 1, 2, \dots, r$ .

Далее определяется количество отказов  $m_j$ , имеющих в каждом интервале, и вычисляются частоты попадания наблюдений в каждый интервал (плотность распределения случайной величины):

$$f_{\vartheta}(\bar{l}_j) = m_j / n. \quad (3.4)$$

Функция распределения случайной величины (или вероятность отказа) равна

$$F_{\vartheta}(\bar{l}_j) = \sum_{j=1}^r m_j / n = \sum_{j=1}^r f_{\vartheta}(\bar{l}_j). \quad (3.5)$$

Необходимо построить гистограмму функции  $f_{\vartheta}(\bar{l}_j)$  (в виде прямоугольников, высотами которых будут являться значения функции, а основанием – ширина интервала) и по ней – график этой функции. По внешнему виду полученной гистограммы выдвигаем гипотезу о принадлежности экспериментальных данных одному из теоретических законов распределения, описывающих поведение случайной величины (нормальный, экспоненциальный, Вейбулла и др.), и определяем основные параметры закона.

Для нормального закона распределения такими параметрами являются среднее значение  $\bar{l}$  и среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ :

$$\bar{l} = \frac{\sum_{j=1}^r \bar{l}_j \cdot m_j}{n}; \quad (3.6)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^r (\bar{l}_j - \bar{l})^2 m_j}{n-1}}. \quad (3.7)$$

Далее определяется коэффициент вариации  $\nu$ , по которому предварительно принимают или отвергают гипотезу о принятом законе распределения ресурса. Для нормального закона распределения он равен от 0,1 до 0,33.

$$\nu = \sigma / \bar{l}. \quad (3.8)$$

Для дальнейшего использования статистических данных необходимо знать теоретический закон распределения, более точно описывающий исследуемый процесс. Для нормального закона распределения плотности вероятности определяются по формуле

$$f_T(l) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(l-\bar{l})^2}{2\sigma^2}}. \quad (3.9)$$

Функция распределения отказов для нормального закона распределения равна

$$F_T(l_j) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{l_j} e^{-\frac{(l-\bar{l})^2}{2\sigma^2}} dl. \quad (3.10)$$

Для нормального закона распределения с целью облегчения расчетов используется нормированная функция  $\Phi(y)$ , для которой принимается новая случайная величина

$$y_j = (\bar{l}_j - \bar{l}) / \sigma. \quad (3.11)$$

Осуществляя замену переменных  $\bar{l}_j$ , получаем

$$\Phi(y_j) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\bar{l}_j + y\sigma} e^{-\frac{y^2}{2}} d(\bar{l} + y\sigma) = \int_{-\infty}^y e^{-\frac{y^2}{2}} dy. \quad (3.12)$$

Для нормированной функции составлена таблица 3.1.

Таблица 3.1 – Значения функции Лапласа  $\Phi(y)$

$y$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,0000	0,0060	0,0159	0,0239	0,0319	0,0399	0,0478	0,0558	0,0638	0,0638
0,1	0797	0876	0955	1034	1113	1192	1271	1350	1428	1507
0,2	1585	1663	1741	1819	1897	1974	2051	2128	2205	2282
0,3	2358	2434	2510	2586	2661	2737	2812	2886	2960	3035
0,4	3108	3132	3255	3328	3401	3473	3545	3616	3688	3759
0,5	3829	3900	3969	4039	4108	4177	4245	4313	4381	4448
0,6	4615	4581	4647	4713	4778	4843	4908	4971	5035	5098
0,7	5161	5223	5385	5346	5407	5468	5527	5587	5646	4705

Окончание таблицы 3.1

$y$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,8	5763	5821	5878	5935	5991	6047	6102	6157	6211	6265
0,9	6319	6372	6424	6476	6528	6579	6629	6680	6729	6778
1,0	6827	6875	6923	6970	7017	7063	7109	7154	7199	7243
1,1	7287	7330	7373	7415	7457	7499	7539	7580	7620	7660
1,2	7699	7737	7775	7812	7850	7887	7923	7959	7994	8030
1,3	8064	8098	8132	8165	8197	8230	8262	8293	8324	8355
1,4	8385	8415	8444	8473	8501	8529	8557	8584	8611	8638
1,5	8664	8689	8715	8740	8764	8789	8812	8836	8859	8882
1,6	8904	8926	8948	8969	8990	9011	9031	9051	9070	9090
1,7	9108	9127	9145	9163	9171	9198	9215	9232	9249	9265
1,8	9281	9297	9312	9327	9342	9356	9371	9385	9398	9412
1,9	9425	9438	9451	9463	9476	9488	9500	9511	9523	9534
2,0	9545	9555	9566	9576	9586	9596	9606	9615	9624	9633
2,1	9642	9651	9659	9668	9676	9684	9692	9699	9707	9714
2,2	9721	9728	9735	9742	9749	9755	9761	9767	9773	9779
2,3	9785	9791	9796	9801	9807	9812	9817	9822	9826	9831
2,4	9836	9840	9844	9849	9853	9857	9861	9864	9868	9872
2,5	9875	9879	9882	9885	9889	9892	9895	9898	9901	9904
2,6	9906	9909	9912	9914	9917	9919	9921	9924	9926	9928
2,7	9307	9327	9347	9367	9386	9404	9422	9439	9456	9473
2,8	9489	9505	9520	9535	9549	9563	9576	9590	9602	9615
2,9	9627	9639	9650	9661	9672	9682	9692	9702	9712	9721
3,0	9730	9739	9747	9755	9763	9771	9779	9786	9793	9900
3,1	9806	9813	9819	9825	9831	9837	9842	9848	9853	9858
3,2	9863	9867	9872	9876	9880	9885	9889	9892	9896	9900
<i>Примечание – С 3,3 значения функций равны 0,999</i>										

Теоретическая функция распределения отказов в этом случае определяется по формуле

$$F_T(l_j) = 1/2 + 1/2 \cdot \Phi(y_j). \quad (3.13)$$

Функция  $\Phi(y)$  нечетная и для нее выполняется условие

$$\Phi(-y) = -\Phi(y). \quad (3.14)$$

Расчет плотности распределения вероятности ведется также с использованием новой переменной

$$f_T(l) = [f_0(y) / \sigma] \cdot \Delta l, \quad (3.15)$$

где  $f_0(y)$  – табличное значение функции (таблица 3.2).

Таблица 3.2 – Значения функции  $f_0(y)$

$y$		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0,	3989	3989	3989	3989	3986	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	3725	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	2181	2107	2083	2059	2036	2012	1989	1965
1,2	0,	1942	1895	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	1212	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	8562	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	3109	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	1595	1545	1506	1468	1431	1394
2,6	0,0	1358	1324	1289	1258	1223	1191	1160	1130	1100	1071
2,7	0,0	1042	1014	0987	0961	0925	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
3,5	0,00	3300	3267	2384	1723	1232	0873	0612	0425	0292	0199

Функция  $f_0(y)$  – четная и для нее выполняется условие

$$f_0(-y) = f_0(y). \quad (3.16)$$

После определения значений  $F_T(l)$  выполняется проверка согласия экспериментальных данных и теоретического закона распределения. Будем использовать критерий согласия Колмогорова. Сначала определяется максимальное отклонение функции эмпирического распределения от теоретического:

$$D_n = \max |F_n(\bar{l}_j) - F_T(l_j)|. \quad (3.17)$$

Вычисляется величина

$$\lambda = D_n \sqrt{n}. \quad (3.18)$$

С помощью таблицы 3.3 находим вероятность  $P(\lambda)$ . При этом, если  $P(\lambda) \geq 0,6$ , то гипотеза о принадлежности опытных данных к нормальному закону не отвергается. Если  $P(\lambda) < 0,6$  – гипотеза отвергается.

Таблица 3.3 – Вероятности для проверки правдоподобия гипотезы о принадлежности опытных данных к нормальному закону с помощью критерия Колмогорова

$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$	$\lambda$	$P(\lambda)$
0,0	1,0	0,7	0,711	1,4	0,040
0,1	1,0	0,8	0,544	1,5	0,022
0,2	1,0	0,9	0,393	1,6	0,012
0,3	1,0	1,0	0,270	1,7	0,006
0,4	0,977	1,1	0,178	1,8	0,003
0,5	0,964	1,2	0,112	1,9	0,002
0,6	0,864	1,3	0,068	2,0	0,001

Определяется доверительный интервал разброса среднего значения наработки на отказ, отвечающий доверительной вероятности  $P_g = 0,9$ .

Среднеквадратическое отклонение среднего результата

$$\bar{\sigma} = \frac{\sigma}{\sqrt{r}}. \quad (3.19)$$

Половина доверительного интервала равна

$$\delta = \bar{\sigma} \cdot u = \bar{\sigma} \cdot \arg \Phi(P_g), \quad (3.20)$$

где  $u$  – квантиль нормального распределения, определенный по таблице 3.1 обратной интерполяцией функции Лапласа и равный 1,64 при доверительной вероятности  $P_g = 0,9$ .

Таким образом, с вероятностью 0,9 отказы произойдут в интервале пробега

$$l = \bar{l} \pm \delta. \quad (3.21)$$

### 3.1 Цель работы

Изучить методику определения вероятности отказов деталей на основе статистической информации.

### 3.2 Содержание работы

Определить параметры оценки закона распределения случайной величины и подобрать теоретический закон.

### 3.3 Методика выполнения работы

3.3.1 Выбрать вариант задания из нижеприведенных условий (таблица 3.4).

Двигатели автомобилей МАЗ-5335 заменялись в эксплуатации при достижении предельного состояния. В процессе наблюдения было зафиксировано 40 первых замен двигателей, наработка на отказ которых приведена в таблице 3.4.

Таблица 3.4 – Нарботка на отказ

Номер варианта	Нарботка на отказ, тыс. км
01	197, 257, 201, 192, 170, 198, 300, 191, 260, 172, 246, 223, 234, 125, 277, 290, 238, 270, 250, 217, 139, 102, 199, 244, 136, 163, 192, 205, 329, 283, 190, 177, 209, 233, 235, 166, 218, 231, 310, 265
<i>Примечание</i> – В таблице приведены исходные данные, а в вариантах необходимо скорректировать их, добавив к каждому четному числу номер своего варианта. Номер варианта соответствует номеру студента в списке группы	

3.3.2 Выполнить расчеты по формулам (3.1)–(3.8) и результаты занести в таблицу 3.5.

Таблица 3.5 – Результаты обработки экспериментальных данных

$j$	$\bar{l}_j$	$m_j$	$f_{\bar{l}_j}$	$F_{\bar{l}_j}$	$\bar{l}_j - \bar{l}$	$y_j$	$\Phi(y)$	$F_T(\bar{l}_j)$	$f_o(y)$	$f_T(\bar{l}_j)$	$F_o(\bar{l}_j) - F_T(\bar{l}_j)$
1											
2											
...											
$r$											

3.3.3 Построить график функции  $f_{\bar{l}_j}$  на одном рисунке, а функции  $F_{\bar{l}_j}$  – на другом. Графики изобразить сплошными линиями (рисунки 3.1 и 3.2).

3.3.4 Выполнить расчеты по формулам (3.9)–(3.16), результаты записать в

таблицу 3.5.

3.3.5 Построить графики теоретической функции  $f_T(l)$  на первом рисунке, а  $F_T(l)$  – на другом, совместив их с графиками п. 3.3.3. Графики изобразить штриховыми линиями.

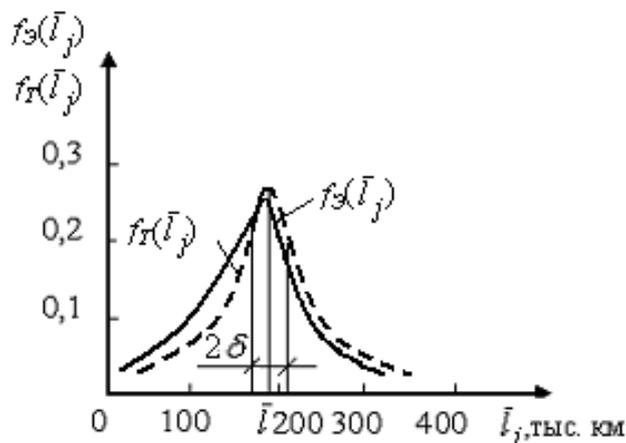


Рисунок 3.1 – Графики плотности вероятности

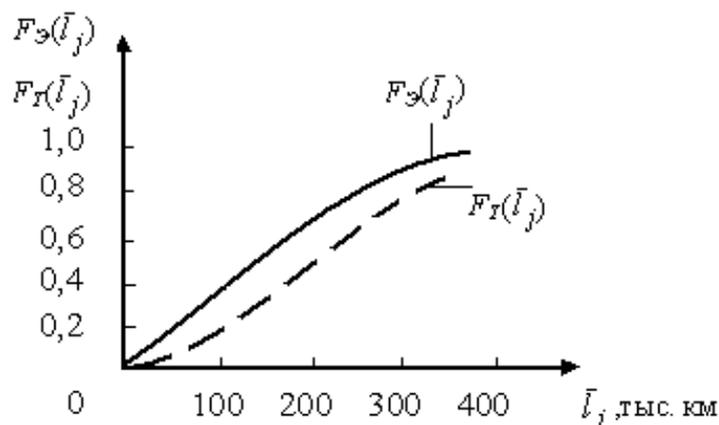


Рисунок 3.2 – Графики вероятности отказов

3.3.6 Выполнить проверку согласия экспериментальных данных с теоретическим законом по критерию Колмогорова, используя выражения (3.17), (3.18) и таблицу 3.3.

3.3.7 Определить с вероятностью 0,9 интервал среднего пробега до отказа.

3.3.8 Указать на рисунках среднюю наработку на отказ и интервал разброса его среднего значения.

3.3.9 Выполнить аналогичные расчеты на ПЭВМ с помощью программы NAD.

3.3.10 Сделать заключение о соответствии опытных результатов определенному теоретическому закону распределения случайных величин, правильности выполненных расчетов и интервале пробега до отказа.

3.3.11 Представить отчет и защитить работу.

### Контрольные вопросы

- 1 Порядок обработки экспериментальных данных.
- 2 Последовательность построения теоретических функций.
- 3 Как выполняется проверка согласия экспериментальных данных с теоретическим законом?

## 4 Определение оптимальной периодичности технического обслуживания по допустимому уровню безотказности и технико-экономическим методом

Исходными данными для определения оптимальной периодичности являются характеристики надежности автомобилей и стоимостные затраты на проведение обслуживаний и ремонтов. Наиболее распространенными методами определения оптимальной периодичности являются: по допустимому уровню безотказности и технико-экономический.

Первый метод (рисунок 4.1) основан на выборе такой рациональной периодичности, при которой вероятность отказа элемента  $R_D(l)$  не превышает заранее заданной величины, называемой риском:

$$R(l_0) \geq R_D(l) = \gamma, \quad (4.1)$$

где  $R(l_0)$  – вероятность безотказной работы при оптимальной периодичности ТО;  
 $R_D(l)$  – допустимая вероятность безотказной работы;  
 $\gamma$  – риск.

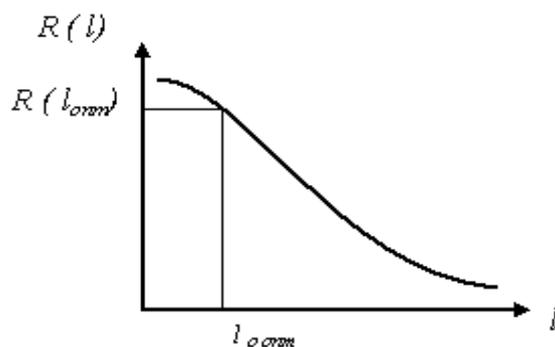


Рисунок 4.1 – График выбора оптимальной периодичности ТО

Вероятность безотказной работы равна

$$R(l) = 1 - \frac{\sum_{j=1}^n m_j}{n} = 1 - F(l), \quad (4.2)$$

где  $\sum_{j=1}^r m_j$  – накопленное число отказов по интервалам группирования

( $j = 1, 2, \dots, r$ );

$F(l)$  – вероятность отказа;

$n$  – общее количество зафиксированных отказов.

Для агрегатов, обеспечивающих безопасность движения  $R_d$  принимается  $0,9...0,98$ , для прочих узлов и агрегатов –  $0,85...0,90$ .

Определяемая периодичность значительно меньше средней наработки на отказ:

$$l_0 = \beta \cdot \bar{l}, \quad (4.3)$$

где  $\beta$  – коэффициент рациональной периодичности;

$\bar{l}$  – средняя наработка на отказ, тыс. км.

По второму методу оптимальная периодичность ТО определяется с учетом минимальной суммы удельных затрат на проведение ТО и ремонта (рисунок 4.2):

$$C = C_{ТО} + C_{ТР} \Rightarrow \min. \quad (4.4)$$

Удельные затраты на ТО определяются по формуле

$$C_{ТО} = \frac{C_{on}}{l_o}, \quad (4.5)$$

где  $C_{on}$  – стоимость выполнения операции ТО, тыс. р./1000 км;

$l_o$  – периодичность операции ТО, тыс. км.

Удельные затраты на ремонт

$$C_{ТР} = \frac{C_p}{l_p}, \quad (4.6)$$

где  $C_p$  – стоимость ремонта (как правило, гораздо выше стоимости ТО), тыс. р.;

$l_p$  – ресурс элемента до ремонта, тыс. км.

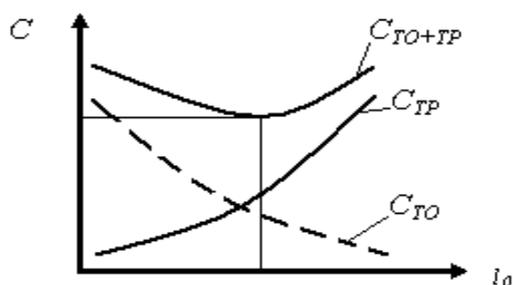


Рисунок 4.2 – Графики изменения удельных затрат

Увеличение периодичности обслуживания приводит к сокращению ресурса агрегата или детали и, соответственно, увеличению удельных затрат на ремонт. Минимум целевой функции будет соответствовать оптимальной периодичности ТО. Задача может быть решена, если известны зависимости затрат на ТО и ремонт от периодичности работ ТО.

#### **4.1 Цель работы**

Изучить методы определения оптимальной периодичности ТО.

#### **4.2 Содержание работы**

Определить оптимальную периодичность ТО по допустимому уровню безотказности и технико-экономическим методом.

#### **4.3 Методика выполнения работы**

4.3.1 Определение оптимальной периодичности ТО по допустимому уровню безотказности.

Исходными данными для определения оптимальной периодичности по данному методу является график вероятности безотказной работы, полученный в результате наблюдения за группой подконтрольных автомобилей с последующим расчетом (таблица 4.1).

4.3.2 Выбрать вариант задания из таблицы 4.1.

4.3.3 Выполнить расчеты: вероятность отказа  $F(l)$ , определим по выражению (3.5), а вероятность безотказной работы  $R(l)$  – по выражению (4.2).

Построим график вероятности безотказной работы.

По графику вероятности безотказной работы графически определяют периодичность технических обслуживаний для агрегатов, влияющих и не влияющих на безопасность движения, задавшись допустимыми значениями вероятности безотказной работы  $R_g$ . Для этих двух групп элементов определяют коэффициенты рациональной периодичности

$$\beta = l_0 / \bar{l} . \quad (4.7)$$

Записать значения оптимальных  $l_0$  периодичностей ТО, полученных по допустимому уровню безотказности.

4.3.4 Определение оптимальной периодичности ТО технико-экономическим методом.

Первоначально рассчитывается удельная стоимость ТО по выражению (4.5) и результаты заносятся в таблицу 4.2. Значения затрат на ТО берется из таблицы 4.3 для своего варианта. Расчет ведется для периодичностей  $l_0 = l_1, l_2, \dots, l_5$ . Количество периодичностей принять равным пяти, при этом последнее значение периодичности должно быть равным ресурсу работы детали.

Таблица 4.1 – Исходные данные и результаты расчетов

$l_{on}$ , тыс. км	10	20	30	40	50
$m_j$	1	2	2	3	4
$m_j/n$					
$F(l)$					
$R(l)$					
<p><i>Примечание</i> – В таблице приведены исходные данные количества отказов <math>m_j</math>, а в вариантах необходимо добавить к каждому числу номер своего варианта, который соответствует номеру студента в списке группы</p>					

Расчет удельных затрат на текущий ремонт будет осуществляться в предположении, что увеличение периодичности ТО приводит к снижению ресурса, что можно учесть с помощью выражения

$$l_{pi} = l_{\max} - l_o, \quad (4.8)$$

где  $l_{\max}$  – максимальное возможный ресурс (берется для своего варианта из таблицы 4.3), тыс. км.

Затраты на ТР берутся из таблицы 4.3 для своего варианта. Результаты расчета заносятся в таблицу 4.2.

Таблица 4.2 – Результаты расчета

Периодичность ТО $l_o$ , тыс. км	$l_1$	$l_2$	$l_3$	...	$l_5$
Удельные затраты на ТО $C_{ТО уд}$ , тыс. р./1000 км					
Ресурс элемента $l_p$ , тыс. км					
Удельные затраты на ТР $C_{ТР уд}$ , тыс. р./1000 км					
Суммарные удельные затраты $C_{уд}$ , тыс. р./1000 км					

Далее по каждому значению периодичности ТО осуществляется определение суммарных удельных затрат на ТО и ТР. Расчет ведется до такого значения суммарных затрат, когда они достигают минимума и начнут возрастать.

На основании данных таблицы 4.2 необходимо построить графики удельных и суммарных затрат на ТО и ТР.

По наименьшим удельным затратам определить значения оптимальных периодичностей  $l_0$ , полученных технико-экономическим методом.

Представить отчет и защитить работу.

Таблица 4.3 – Варианты исходных данных

Номер варианта	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Затраты на ТО $C_{ТО}$ , тыс. р.	10	15	20	25	30	35	40	45	50
Затраты на ТР $C_{ТР}$ , тыс. р.	100	100	100	100	100	110	110	110	120
Максимальный ресурс $l_{pmax}$ , тыс. км	50	55	60	65	70	85	75	80	95

Продолжение таблицы 4.3

Номер варианта	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Затраты на ТО $C_{ТО}$ , тыс. р.	60	65	70	75	80	85	90	95	100
Затраты на ТР $C_{ТР}$ , тыс. р.	120	130	120	125	130	130	135	135	135
Максимальный ресурс $l_{pmax}$ , тыс. км	110	115	70	75	80	90	100	105	110

Продолжение таблицы 4.3

Номер варианта	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Затраты на ТО $C_{ТО}$ , тыс. р.	110	115	120	125	130	135	140	145	150
Затраты на ТР $C_{ТР}$ , тыс. р.	135	135	135	135	140	140	140	145	145
Максимальный ресурс $l_{pmax}$ , тыс. км	130	140	150	160	85	95	100	110	120

### ***Контрольные вопросы***

1 Методика определения оптимальной периодичности ТО по допустимому уровню безотказности.

2 Методика определения оптимальной периодичности ТО технико-экономическим методом.

3 Анализ полученных результатов.

## **5 Определение показателей эксплуатационной технологичности и ремонтпригодности автомобилей**

Эксплуатационная технологичность (ЭТ) и ремонтпригодность (РП) – это совокупность свойств изделия, заключающаяся в приспособленности его к проведению всех видов ТО и ремонтов с применением экономичных технологических процессов.

ЭТ и РП характеризуется в соответствии с ГОСТ 20334–81 основными и

дополнительными показателями. К основным показателям относятся: периодичность ТО-1 и ТО-2 ( $L_1, L_2$ , тыс. км); разовая оперативная трудоемкость ежедневного обслуживания ( $S_{EO}$ , чел.-ч); удельная оперативная трудоемкость ТО ( $S_{TO}$ , чел.-ч/тыс. км); удельная оперативная трудоемкость текущего ремонта ( $S_{TP}$ , чел.-ч/тыс. км).

К дополнительным показателям относятся: разовая оперативная трудоемкость ТО-1, ТО-2, сезонного обслуживания ( $S_1, S_2, S_{CO}$ , чел.-ч); число марок применяемых топливно-смазочных материалов; число марок применяемых технических жидкостей и др.

### 5.1 Цель работы

Изучить показатели ЭТ и РП и требования ЭТ и РП к подвижному составу автомобильного транспорта.

### 5.2 Содержание работы

Определить основные и частично дополнительные показатели ЭТ и РП по трем заданным моделям подвижного состава (ПС). Оценить соответствие основных и дополнительных показателей требованиям и выявить наиболее предпочтительную модель подвижного состава с позиций ЭТ и РП.

### 5.3 Методика выполнения работы

5.3.1 В соответствии с заданным вариантом (таблица 5.1), номер которого соответствует номеру студента в списке группы, для трех моделей подвижного состава выбрать из «Положения о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» и рассмотреть основные нормативные показатели ЭТ и РП и записать их в таблицу 5.2.

Таблица 5.1 – Варианты моделей подвижного состава

Номер варианта	Подвижной состав		
	Модель 1	Модель 2	Модель 3
1	2	3	4
1	ВАЗ-2101	ГАЗ-2410	ГАЗ-2411
2	ВАЗ-2104	ИЖ-2126	ВАЗ-2108
3	ИЖ-21251	ГАЗ-2412	ВАЗ-2107
4	ВАЗ-2105	ВАЗ-2109	ИЖ-21251
5	ГАЗ-2411	ВАЗ-2108	АЗЛК-2141-01
6	ИЖ-21251	ГАЗ-2411	УАЗ-31512
7	УАЗ-2206	ПАЗ-3205	РАФ-2203-01
8	ЛАЗ-697Р	ЛАЗ-695НГ	ПАЗ-672М
9	ЛАЗ-695Н	ЛАЗ-697Р	ЛиАЗ-5256
10	ЛиАЗ-677	ЛАЗ-42021	ПАЗ-672М

Окончание таблицы 5.1

1	2	3	4
11	ЛиАЗ-677	Ик-260	ЛАЗ-695Н
12	ИЖ-271501	УАЗ-3741	АЗЛК-2335
13	ГАЗ-3302	УАЗ-451М	УАЗ-451ДМ
14	КамАЗ-43101	ЗиЛ-131Н	КрАЗ-25561
15	КрАЗ-258Б1	КамАЗ-5410	МАЗ-54331
16	САЗ-3508	ЗиЛ-ММЗ-4510	ГАЗ-САЗ-3701
17	МАЗ-5511	КрАЗ-256Б1	КамАЗ-55111
18	ГАЗ-53А	ГАЗ-5312	ГАЗ-3307
19	ИЖ-271501	АЗЛК-2335	УАЗ-3741
20	МАЗ-53371	МАЗ-53362	ЗиЛ-31510
21	ГАЗ-6611	ЗиЛ-157КД	ЗиЛ-131Н
22	КамАЗ-53208	ГАЗ-5319	ЗиЛ-43610
23	ГАЗ-5327	ЗиЛ-43610	ГАЗ-33075
24	МАЗ-54331	МАЗ-64229	КрАЗ-260В
25	ЗиЛ-131Н	ЗиЛ-ММЗ-4413	КамАЗ-54112
26	КамАЗ-5315	ГАЗ-5312	МАЗ-53371
27	ЗиЛ-431410	КамАЗ-5320	КрАЗ-260
28	МАЗ-54328	КамАЗ-54323	ГАЗ-3307

Таблица 5.2 – Значения нормативных и стандартных показателей и баллы по моделям ПС

Показатель	Нормативный показатель			Стандартный показатель			Балл		
	1 м	2 м	3 м	1 м	2 м	3 м	1 м	2 м	3 м
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1 Основные									
1.1 Периодичность ТО-1, км									
1.2 Периодичность ТО-2, км									
1.3 Трудоемкость ЕО, чел.-ч									
1.4 Удельная трудоемкость ТО, чел.-ч/1000 км									
1.5 Удельная трудоемкость ТР, чел.-ч/1000 км									
2 Дополнительные									
2.1 Разовая трудоемкость ТО-1, чел.-ч									
2.2 Разовая трудоемкость ТО-2, чел.-ч									
2.3 Разовая трудоемкость СО, чел.-ч									
Всего									

Периодичность ТО-1 и ТО-2 и разовая оперативная трудоемкость ЕО берутся нормативными. Удельная оперативная трудоемкость ТО принимается за

пробег между ТО-2 и включает в себя три ТО-1 и одно ТО-2. Тогда выражение для ее определения можно записать, как

$$\bar{S}_{TO} = \frac{3t_1 + t_2}{L_2}, \quad (5.1)$$

где  $t_1$  – нормативная трудоемкость ТО-1 для заданной модели подвижного состава, чел.-ч;

$t_2$  – нормативная трудоемкость ТО-2, чел.-ч;

$L_2$  – нормативная периодичность ТО-2, тыс. км.

Удельная оперативная трудоемкость ТР берется как нормативная для заданной модели подвижного состава.

5.3.2 Выбрать соответствующие стандартные показатели ЭТ и РП из таблиц 5.3–5.6 и записать их в таблицу 5.2.

Таблица 5.3 – Периодичность ТО изделий автомобильной техники

Тип изделия	Периодичность			
	ЕО	ТО-1	ТО-2	ТО по сервисным книжкам
1 Автомобили легковые	Один раз в рабочие сутки	5000	20000	10000
2 Автобусы		5000	20000	
3 Автомобили грузовые, автобусы на базе грузовых автомобилей или с использованием их основных агрегатов		4000	16000	
4 Прицепы и полуприцепы		4000	16000	
5 Автомобили полноприводные		4000	16000	

Таблица 5.4 – Трудоемкость ТО и ТР легковых автомобилей

Класс автомобиля	Рабочий объем двигателя, л	Оперативная трудоемкость		
		Разовое ЕО, чел.-ч	Удельная, чел.-ч/тыс. км, не более	
			ТО	ТР
1 Особо малый	До 1,2	0,25	0,70	1,7
2 Малый	Св. 1,2 до 1,8	0,35	0,80	2,0
3 Средний	Св. 1,8 до 3,5	0,50	1,00	2,3

Таблица 5.5 – Трудоемкость ТО и ТР автобусов

Класс автобуса	Длина, м	Оперативная трудоемкость		
		Разовое ЕО, чел.-ч	Удельная, чел.-ч/тыс. км, не более	
			ТО	ТР
1 Особо малый	До 5,0	0,50	2,00	3,6
2 Малый	Св. 6,0 до 7,5	0,70	2,50	4,0
3 Средний	Св. 8,0 до 9,5	0,95	3,00	4,5
4 Большой	Св. 10,5 до 12,0	1,20	3,90	4,9

Таблица 5.6 – Трудоемкость ТО и ТР грузовых автомобилей, прицепов и полуприцепов

Тип	Грузоподъемность	Полезная нагрузка, т	Оперативная трудоемкость		
			Разовое ЕО, чел.-ч	Удельная, чел.-ч/тыс. км, не более	
				ТО	ТР
1 Общего назначения с колесной формулой 4 × 2 и 6 × 4	Особо малая	От 0,5 до 1,0	0,20	0,90	2,0
	Малая	Св. 1,0 до 3,0	0,40	1,20	2,7
	Средняя	Св. 3,0 до 4,0	0,55	1,40	3,2
		Св. 4,0 до 5,0	0,55	1,80	3,5
	Большая	Св. 5,0 до 8,0	0,65	2,00	5,0
		Св. 8,0 до 10,0	0,80	2,50	5,5
Особо большая	Св. 10,0 до 16,0	1,00	2,60	7,0	
2 Прицепы одноосные	Малая и средняя	До 3,0	0,12	0,35	0,4
3 Прицепы двухосные	Средняя и большая	До 8,0	0,22	0,70	1,2
	Особо большая	Св. 8,0	0,34	0,90	1,8
4 Полуприцепы одноосные	Средняя и большая	До 8,0	0,22	0,70	1,2
	Особо большая	Св. 8,0	0,22	0,75	1,2
5 Полуприцепы многоосные	Особо большая	От 8,0 до 16,0	0,34	1,00	1,6

5.3.3 Сравнить основные нормативные и стандартные показатели. Если показатель соответствует стандартному или лучше его, начисляется один балл, если нет – ноль баллов. Проставить баллы в таблицу 5.2.

5.3.4 Определить дополнительные показатели эксплуатационной технологичности:  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_{CO}$ . Трудоемкость ТО-1 и ТО-2 необходимо скорректировать с учетом коэффициентов корректирования

$$S_{Toi} = t_i \cdot k_2 \cdot k_5, \quad (5.2)$$

где  $t_i$  – нормативная трудоемкость  $i$ -го вида ТО, чел.-ч;

$k_2$  – коэффициент, учитывающий модификацию подвижного состава;

$k_5$  – коэффициент, учитывающий число подвижного состава в АТП (принять самостоятельно).

Трудоемкость сезонного обслуживания для Республики Беларусь принимается 20 % от  $t_2$ .

Указанные дополнительные показатели сравниваются попарно для заданных моделей подвижного состава. По лучшему значению назначается дополнительно 0,5 балла.

5.3.5 Определить сумму баллов по каждой модели и по ней выбрать наиболее предпочтительную модель подвижного состава.

5.3.6 Представить отчет и защитить работу.

### **Контрольные вопросы**

- 1 Основные показатели ЭТ и РП.
- 2 Дополнительные показатели ЭТ и РП.
- 3 Порядок выбора ПС по показателям ЭТ и РП.

## **6 Определение допустимых значений параметров технического состояния**

Допустимый норматив – это ужесточенная величина предельного значения параметра, при которой обеспечивается заданный уровень вероятности отказа на предстоящем межконтрольном пробеге.

Если для совокупности автомобилей параметры изменяются неодинаково в зависимости от пробега, то допустимое значение определяют в зависимости от плотности распределения параметра с учетом ошибок 1-го и 2-го рода.

Допустимое значение можно приблизительно определить, если распределение параметра подчиняется нормальному закону распределения. При двухстороннем ограничении для параметров, обеспечивающих безопасность движения,

$$S_{д} = \bar{S} \pm 1,5\sigma, \quad (6.1)$$

где  $\bar{S}$  – среднее значение параметра;  
 $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение.

Для других параметров при двухстороннем ограничении

$$S_{д} = \bar{S} \pm 2\sigma. \quad (6.2)$$

При одностороннем (например, верхнем) ограничении для элементов, обеспечивающих безопасность движения,

$$S_{д} = \bar{S}_m + \sigma, \quad (6.3)$$

для других элементов

$$S_{д} = \bar{S}_m + 1,7\sigma. \quad (6.4)$$

Графически эта задача может решаться, если известна вероятность появления случайной величины. При этом задается уровень вероятности ( $P = 0,85$  – для элементов, обеспечивающих безопасность движения;  $P = 0,95$  – для прочих элементов), ограничивающий диапазон рассеивания случайной величины. Границы этого диапазона и будут являться допустимыми значениями диагностического параметра.

### 6.1 Цель работы

Освоить методику определения допустимых значений параметров.

### 6.2 Содержание работы

Определить допустимые значения диагностических параметров на основе вероятности распределения диагностического параметра графическим и аналитическим способами.

### 6.3 Методика выполнения работы

В качестве исходных данных принимаются значения параметров, измеренных у 12 исправных автомобилей (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Значения параметров

Номер автомобиля	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Значение параметра	52	74	56	58	60	62	66	66	72	69	80	58

Допустимое значение параметров определим аналитическим и графическим способами.

#### 6.3.1 Аналитический способ.

Выбрать исходные данные, для чего приведенные в таблице 6.1 значение параметра увеличить на число варианта, который соответствует номеру фамилии студента в списке группы.

По формулам (3.1)–(3.7) определить количество интервалов и их границы, середины интервалов, количество наблюдений в каждом интервале и частоты их попадания, вероятность появления предельного значения, среднее значение  $\bar{S}$ , среднеквадратическое отклонение  $\sigma$ .

Результаты расчетов заносим в таблицу 6.2.

По выражениям (6.1)–(6.4) определяем допустимые значения параметров.

Таблица 6.2 – Результаты расчета

Номер интервала	1	2	$r$
Начало интервала $S_j$			
Конец интервала $S_j \pm \Delta S$			
Середина интервала $\bar{S}_j$			
Количество попаданий параметров в интервал $m_j$			
Частота попаданий параметров в интервал $f_j$			
Вероятность попадания параметров $F_j$			

### 6.3.2 Графический способ.

По результатам расчетов построить гистограмму и график вероятности  $F_j$ .

По значениям заданных вероятностей 0,85 и 0,95 определить допустимые значения параметров, а с учетом условий ограничения (6.1)–(6.4) – границы диапазона допустимых значений параметров.

Сравнить допустимые значения параметров, полученные аналитическим и графическим способами и сделать заключение.

### 6.3.3 Представить отчет и защитить работу.

#### **Контрольные вопросы**

1 Последовательность определения допустимых значений параметров технического состояния аналитическим способом.

2 Последовательность определения допустимых значений параметров графическим способом.

3 Диапазоны изменения параметров технического состояния для рассматриваемых случаев.

## **7 Применение закона Пуассона в теории массового обслуживания**

Закон Пуассона находит широкое применение в технике, экономике, гуманитарных науках.

Вероятность событий, распределенных по закону Пуассона, выражается зависимостью

$$P(k, a) = \frac{a^k}{k!} e^{-a} = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}, \quad (7.1)$$

где  $a$  – параметр (математическое ожидание);

$k$  – случайная величина, число событий за отрезок времени  $t$ ;

$\lambda$  – плотность (интенсивность), число событий в единицу времени.

График закона Пуассона представлен на рисунке 7.1.

Для закона Пуассона характерны следующие условия:

- появление событий имеет малую вероятность;
- произведение числа наблюдений на вероятность есть величина постоянная;
- число наблюдений большое.

Предварительным признаком принадлежности опытных данных к закону Пуассона является форма графика, а также близкое равенство математического ожидания и дисперсии. Окончательно принадлежность к закону проверяется с помощью критерия Пирсона.

В рассматриваемой работе необходимо установить закон распределения автомобилей, прибывающих на станцию технического обслуживания (СТО)

и определить их количество в интервале времени с 8.00 до 9.00 ч с вероятностью 90 %. Всего было проведено  $N = 300$  наблюдений в этот период (таблица 7.1), которые распределены в разряды по количеству автомобилей.

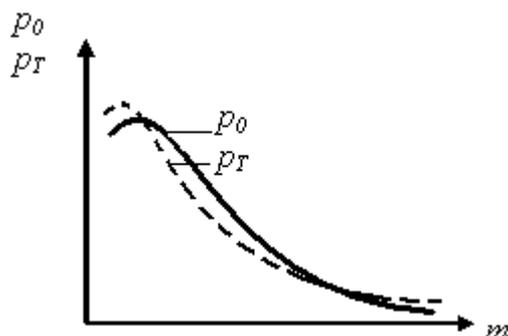


Рисунок 7.1 – График закона Пуассона

Таблица 7.1 – Результаты наблюдений прибытия автомобилей на СТО в интервале времени с 8.00 до 9.00 ч

Количество автомобилей (разряды)	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Количество случаев $m_0$	10	46	72	78	53	25	10	4	2

### 7.1 Цель работы

Изучить методику решения задач теории массового обслуживания с применением закона Пуассона распределения случайной величины.

### 7.2 Содержание работы

Установить закон распределения случайной величины и найти числовые характеристики закона.

### 7.3 Методика выполнения работы

7.3.1 Определяем согласно варианта опытное количество случаев прибытия автомобилей на СТО ( $m_0$  и  $N$ ). Вариант определяется номером студента в списке группы. Количество наблюдаемых случаев увеличивается в каждом разряде на номер варианта. Результаты занести в таблицу 7.2 (столбец 2).

7.3.2 Вычисляем опытные частоты попадания случаев прибытия автомобилей в разряды по выражению

$$P_0 = \frac{m_0}{N}. \quad (7.2)$$

Результаты занести в таблицу 7.2 (столбец 3).

Таблица 7.2 – Результаты расчетов

Количество автомо- билей, разряды $k$	Опытные частоты $m_0$	Опытные частоты $P_0$	Теоретические вероятности $P_T$	Теоретические частоты $m_T$
0				
1				
...				
8				
Всего				

7.3.3 Построим гистограмму опытных частостей  $P_0$  сплошной линией и их график, по которому делаем предварительное суждение о законе распределения прибытия автомобилей на СТО.

7.3.4 Вычислим математическое ожидание количества прибывших автомобилей за отмеченное время и дисперсию по формулам

$$\bar{a} = \sum_{k=0}^8 k \cdot P_0; \quad (7.3)$$

$$D = \sum_{k=0}^8 (k - \bar{a})^2 \cdot P_0, \quad (7.4)$$

где  $k$  – количество автомобилей, прибывающих на СТО с вероятностью  $P_0$  в период времени 8.00–9.00 ч.

При их незначительном отличии подтверждается принадлежность распределения поступления автомобилей к закону Пуассона.

7.3.5 Вычисляем теоретическую вероятность  $P_T$  распределения поступления автомобилей по выражению (7.1) и запишем результаты в таблицу 7.2.

7.3.6 Построим график теоретической вероятности штриховой линией, совместив ее с графиком функции  $P_0$ .

7.3.7 Вычислим теоретические частоты  $m_T$  попадания событий в разряды  $k$  по выражению

$$m_T = N \cdot P_T. \quad (7.5)$$

Результаты запишем в таблицу 7.2.

7.3.8 Проверим правдоподобность принятой гипотезы о принадлежности к закону Пуассона с помощью критерия согласия Пирсона  $P(x^2, \text{ч})$ , для чего вычислим коэффициент Пирсона

$$x^2 = \sum_{k=0}^8 \frac{(m_0 - m_T)^2}{m_T} \quad (7.6)$$

и число степеней свободы

$$u = k - S, \quad (7.7)$$

где  $k$  – число разрядов,  $k = 9$ ;

$S$  – число ограничений (связей),  $S = 3$ .

7.3.9 Задавшись уровнем значимости ( $\alpha = 0,1$ ) определим значение критерия согласия Пирсона  $P(x^2, \chi)$  из таблицы 7.3. При значении критерия согласия больше 0,1 гипотеза подтверждается, а при меньшем значении – отвергается.

Таблица 7.3 – Значения критерия согласия Пирсона

$x^2$	1	2	3	4	5	6	7
$P(x^2, \chi)$	0,985	0,919	0,808	0,676	0,543	0,423	0,320

Продолжение таблицы 7.3

$x^2$	8	9	10	11	12	13
$P(x^2, \chi)$	0,238	0,173	0,124	0,088	0,062	0,043

7.3.10 Вычислим доверительный интервал разброса среднего результата, для этого определим среднеквадратическое отклонение среднего результата

$$\bar{\sigma}_a = \frac{\sigma}{\sqrt{k}}. \quad (7.8)$$

Половина доверительного интервала составляет

$$\delta = \bar{\sigma}_a \cdot u, \quad (7.9)$$

где  $u$  – квантиль нормального распределения, равный 1,64 при 90 % доверительной вероятности (определяется из таблицы 3.1).

Количество прибывших на СТО автомобилей равно

$$J_g = \bar{a} \pm \delta. \quad (7.10)$$

7.3.11 Отметить среднее значение и доверительный интервал на графике и сделать заключение о количестве автомобилей, прибывающих на СТО в период времени с 8.00 до 9.00 ч.

7.3.12 Выполнить расчет на ПЭВМ по программе «Пуассон».

7.3.13 Представить отчет и защитить работу.

### Контрольные вопросы

- 1 Характеристика закона Пуассона.
- 2 Предварительные признаки принадлежности опытных данных закону Пуассона.
- 3 Порядок проверки принадлежности данных к закону Пуассона с помощью критерия согласия.

## 8 Определение времени ремонта с применением показательного закона распределения случайной величины

В теории надежности показательный закон используется при внезапных отказах (поломках). В теории массового обслуживания он может характеризовать время воздействия на объект.

Плотность вероятности выражается зависимостью

$$f(t) = \mu e^{-\mu t}, \quad (8.1)$$

где  $t$  – случайная величина (время, пробег);

$\mu$  – параметр закона (интенсивность событий), численно равный числу событий в единицу времени.

График показательного закона представлен на рисунке 8.1.

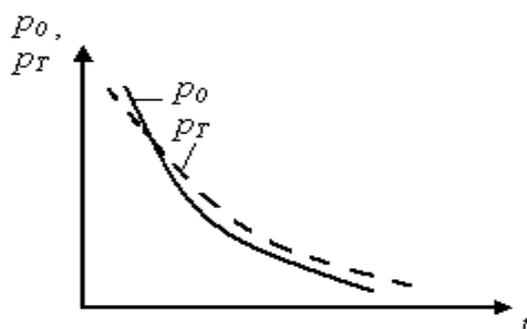


Рисунок 8.1 – График показательного закона

Особенностями закона являются:

– равенство математического ожидания  $\bar{t}$  и среднеквадратичного отклонения  $\sigma$

$$\bar{t} = \sigma = \frac{1}{\mu}; \quad (8.2)$$

– постоянство интенсивности

$$\mu = \text{const}; \quad (8.3)$$

– вероятность отказа равна наработке на отказ.

В рассматриваемом примере (таблица 8.1) необходимо установить закон распределения и определить время ремонта автомобиля.

Таблица 8.1 – Экспериментальные данные времени ремонта автомобиля

Номер разряда	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Границы разрядов $t_n - t_k$	0–10	10–20	20–30	30–40	40–50	50–60	60–70	70–80	80–90	90–100
Среднее время ремонта $t_i$ , мин	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95
Опытные частоты $m_0$	49	42	37	32	20	15	8	6	5	3

### 8.1 Цель работы

Освоить метод решения задач с применением показательного закона.

### 8.2 Содержание работы

Установить закон распределения случайной величины и определить среднее время ремонта автомобиля.

### 8.3 Методика выполнения работы

8.3.1 Выбрать данные своего варианта, для чего к величинам  $m_0$  таблицы 8.1 добавить номер студента в списке группы. Эти и последующие данные занести в таблицу 8.2.

8.3.2 Определить среднее время (см. формулу (3.6)) и интенсивность ремонта (см. формулу (8.2)).

8.3.3 Вычислить опытные частоты по выражению (7.2).

8.3.4 Вычислить теоретические частоты попадания времени ремонта в разряды по выражению (7.5).

При этом теоретическая вероятность (частота) попадания в разряды определяется по формуле

$$p_T = p(t_n < t < t_k) = e^{-\mu t_n} - e^{-\mu t_k} = \mu \cdot e^{-\mu t} \cdot \Delta t. \quad (8.4)$$

8.3.5 Построить гистограмму и график опытных частот  $p_0$  (сплошной линией), по которым делается заключение о законе распределения времени ремонта автомобилей.

8.3.6 Построить график теоретической частоты  $p_T$  (штриховой линией), совместив его с графиком  $p_0$ .

8.3.7 Проверить правдоподобность принятой гипотезы о принадлежности к показательному закону распределения времени ремонта автомобилей с помощью

критерия согласия Романовского, для которого должно выполняться условие

$$\frac{x^2 - \chi}{\sqrt{2 \cdot \chi}} < 3, \quad (8.5)$$

где  $x^2$ ,  $\chi$  вычисляются по формулам (7.6) и (7.7).

Таблица 8.2 – Исходные данные и результаты расчетов

Номер разряда	Среднее время ремонта $t_i$	Опытные частоты $m_0$	Опытные частоты $p_0$	Теоретические частоты $p_T$	Теоретические частоты $m_T$
1					
...					
10					
Всего					

8.3.8 Вычислить ширину доверительного интервала среднего времени ремонта автомобиля при доверительной вероятности 90 % по формулам (7.9) и (7.10), учитывая, что для показательного закона среднее квадратическое отклонение равно математическому ожиданию (см. формулу (8.2)). Среднее время ремонта автомобиля определить по формуле (7.10).

8.3.9 Отметить среднее время ремонта и доверительный интервал на графике и сделать заключение о времени ремонта автомобиля.

8.3.10 Выполнить расчет на ПЭВМ по программе «Показ».

8.3.11 Представить отчет и защитить работу.

### **Контрольные вопросы**

1 Характеристики показательного закона и его применение.

2 Предварительные признаки принадлежности опытных данных к показательному закону.

3 Порядок проверки принадлежности опытных данных к показательному закону с помощью критерия согласия Романовского.

### **Список литературы**

1 Савич, Е. Л. Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие: в 3 ч. Ч. 1: Теоретические основы технической эксплуатации / Е. Л. Савич, А. С. Сай. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 427 с.

2 Савич, Е. Л. Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие: в 3 ч. Ч. 3: Ремонт, организация, планирование и управление / Е. Л. Савич. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 632 с.

3 Савич, Е. Л. Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие: в 3 ч. Ч. 2: Методы и средства диагностики и техническое обслуживание авто-

мобилей / Е. Л. Савич. – Минск: Новое знание; Москва: ИНФРА-М, 2015. – 364 с.

4 **Мороз, С. М.** Методы обеспечения работоспособного технического состояния автотранспортных средств : учебное пособие / С. М. Мороз. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва: Юрайт, 2021. – 240 с.

5 **Мороз, С. М.** Методология исследований в технической эксплуатации автомобилей : учебник / С. М. Мороз. – Москва: Юрайт, 2021. – 186 с.

6 Практикум по технической эксплуатации автомобилей: учебное пособие / А. А. Долгушин [и др.]; под ред. А. А. Долгушина. – Новосибирск: Новосиб. аграр. ун-т, 2018. – 424 с.

7 **Коваленко, Н. А.** Техническая эксплуатация автомобилей: учебное пособие / Н. А. Коваленко, В. П. Лобах, Н. В. Вепринцев. – Минск : Новое знание, 2008. – 352 с.

8 **СТБ 164–2019.** Транспорт дорожный. Требование к техническому состоянию по условию безопасности движения. Методы проверки. – Минск: Изд-во стандартов, 2019. – 50 с.

9 **ТКП 248–2010.** Технический кодекс установившейся практики. Техническое обслуживание и ремонт автомобильных транспортных средств. Нормы и правила проведения. – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2010. – 42 с.

10 **ТКП 132–2009.** Технический кодекс установившейся практики. Обслуживание транспортных средств. Порядок проведения. – Минск: М-во транспорта и коммуникаций Респ. Беларусь, 2009. – 19 с.