



Д.В. Демидов  
Н.П. Безсолицин

**РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ  
ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ  
АВТОМОБИЛЕЙ**

Екатеринбург  
2019

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Кафедра автомобильного транспорта

Д.В. Демидов  
Н.П. Безсолицин

# **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ**

Методические указания  
для выполнения курсовой работы, организации самостоятельной работы  
обучающихся по направлению подготовки 23.04.03  
«Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»;  
дисциплине «Решение задач по повышению эффективности технической  
эксплуатации автомобилей» всех форм обучения

Екатеринбург  
2019

Печатается по рекомендации методической комиссии ИАТТС.  
Протокол № 2 от 05.10. 2018 г.

Рецензент – канд. техн. наук, доцент кафедры автомобильного транспорта  
Б.А. Сидоров

Редактор Е.Л. Михайлова  
Оператор компьютерной верстки Е.Н. Дунаева

---

Подписано в печать 26.08.19		Поз. 76
Плоская печать	Формат 60×84 1/16	Тираж 10 экз.
Заказ №	Печ. л. 2,32	Цена руб. коп.

---

Редакционно-издательский отдел УГЛТУ  
Отдел оперативной полиграфии УГЛТУ

## ВВЕДЕНИЕ

Методические указания предназначены для выполнения курсовой работы, организации самостоятельной работы обучающихся по направлению подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»; дисциплине «Решение задач по повышению эффективности технической эксплуатации автомобилей» всех форм обучения.

Методические указания составлены на основе:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования по направлению подготовки 23.04.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов»;
- рабочей программы дисциплины «Решение задач по повышению эффективности технической эксплуатации автомобилей»;
- стандартов УГЛТУ СТБ 1.3.0.0-00-18 «Учебное издание. Основные положения» и СТБ 1.3.1.0-00-2018 «Учебные издания. Учебно-методическое пособие. Основные положения».

Необходимость издания данных методических указаний вызвана отсутствием систематически подобранного издания по дисциплине и требованием организации самостоятельной работы обучающихся.

Методические указания включают общие сведения о статистическом методе исследования, моделировании причинно-следственных связей и его применении при определении причин отказов автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей, указания по выполнению курсовой работы, варианты заданий, алгоритмы решения задач, примеры выполнения расчетов, приложение со справочными данными, библиографический список [1-27].

### Тема, цель и задачи выполнения курсовой работы

Тема курсовой работы – **«Моделирование причинно-следственных связей возникновения отказов и исследование надежности автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей».**

Курсовая работа состоит из двух разделов:

- моделирование причинно-следственных связей возникновения отказов автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей;
- применение статистического метода исследования надежности автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей.

**Цель курсовой работы** – закрепить теоретические знания в области повышения эффективности технической эксплуатации автомобилей, теории графов и статистических методов исследований; получить навыки при моделировании причинно-следственных связей возникновения отказов, а также сборе и обработке исходной (эксплуатационной) информации о надежности автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей.

Номер варианта исходных данных для выполнения курсовой работы приведен в табл. 1.

### **Задачи при выполнении курсовой работы**

1. Изучить теоретическую часть.

2. Для выполнения раздела **«Моделирование причинно-следственных связей возникновения отказов автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей»:**

2.1. Для детали автомобиля (по выбору обучающегося)<sup>1</sup> с явными признаками дефектов, повреждений либо деформаций разработать модель причинно-следственных связей и определить причины возникновения дефектов, повреждений либо деформаций (цепочка последствий дефекта конструкции); предложить мероприятия по предупреждению возникновения дефектов, повреждений либо деформаций;

2.2. Для системы автомобиля (по выбору обучающегося) разработать модель причинно-следственных связей и определить причины возникновения отказов в системе (цепочка последствий дефекта процесса технической эксплуатации автомобиля); предложить мероприятия по предупреждению возникновения отказов в системе.

3. Для выполнения раздела **«Применение статистического метода исследования надежности автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей»:**

3.1. Собрать статистические данные по эксплуатационной надежности автомобилей на предприятии (формы прил. 1 и 2); при невозможности сбора таких данных принять исходные данные по табл. 2 и 3.

3.2. Решить две задачи с использованием статистического метода исследования надежности автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей:

– используя статистический метод исследования износов деталей, поступающих в ремонт, спрогнозировать объем восстановительных работ и потребности производства в запасных частях;

– используя информацию о наработках автомобилей (агрегатов, узлов, деталей) до интересующего нас состояния (до технического обслуживания ТО-1 или ТО-2, до текущего ремонта или капитального ремонта), определить закон их распределения, спрогнозировать объем, периодичность или трудоемкость технического обслуживания и ремонта и построить кривую отказа изделия.

---

<sup>1</sup> Желательно приобщить к курсовой работе наглядный образец. В качестве такой детали, например, могут быть детали цилиндро-поршневой группы либо других систем.

## 1. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### 1.1. Статистический метод исследования. Общие сведения

Для изучения различных явлений и физических процессов в области технической эксплуатации автомобилей производят экспериментальные исследования и эксплуатационные наблюдения.

Под **испытанием** понимают осуществление какого-либо комплекса условий, который может быть воспроизведен сколь угодно большое число раз, при этом подразумевается, что о воспроизведении условий испытания можно говорить только в приближенном смысле.

Результатом испытаний являются **события**.

В ходе испытания в связи с изменением случайных обстоятельств может произойти то или иное событие из множества возможных при данном испытании. Это множество событий называется **полем событий**, связанных с испытанием, а события этого поля – **случайными**.

**Относительной частотой**  $W_n(A)$  (или частотью) случайного события  $A$  называется отношение числа  $n_A$  появлений этого события к общему числу произведенных испытаний  $N$ :

$$W_n(A) = \frac{n_A}{N}. \quad (1)$$

Случайная величина – это переменная, принимающая в результате испытания то или иное (лимитируемое комплексом условий ее возникновения) значение, которое в точности нельзя предсказать до проведения эксперимента. Случайная величина рассматривается как функция, аргументом которой служит элементарное случайное событие поля испытания.

Случайные величины могут быть дискретными или непрерывными.

**Непрерывная случайная величина** – это такая величина, которая может принимать любые значения в одном или нескольких заданных интервалах или областях плоскости или пространства.

**Дискретная случайная величина** может быть задана перечислением всех ее возможных значений. Из определения непрерывной случайной величины ясно, что для нее нельзя перечислить все возможные значения  $X$ , так как этот перечень составляет несчетное бесконечное множество.

Пусть  $x$  – действительное число. Вероятность события, состоящего в том, что  $X$  примет значение, меньшее  $x$ , т.е. вероятность события  $X < x$ , обозначают через  $F(x)$ . С изменением  $x$  изменяется и  $F(x)$ , т.е.  $F(x)$  – функция от  $x$ .

**Функцией распределения** называют вероятность того, что случайная величина  $X$  в результате испытания примет значение, меньшее  $x$ :

$$F(x) = P(X < x). \quad (2)$$

Функцию  $F(x)$  также называют **интегральной функцией распределения**.

Функция распределения имеет свойство

$$\lim_{x \rightarrow -\infty} F(x) = 0, \quad (3) \quad \lim_{x \rightarrow \infty} F(x) = 1. \quad (4)$$

Функция  $F(x)$  – непрерывная и возрастающая; ее приращение в промежутке  $(x_1, x_2)$  равно вероятности для величины  $X$  попасть в этот промежуток.

Первую производную функции распределения  $F(x)$  называют **плотностью распределения вероятностей непрерывной случайной величины  $f(x)$** :

$$f(x) = F'(x). \quad (5)$$

Функцию  $f(x)$  также называют **дифференциальной функцией распределения**.

При описании непрерывного распределения используют квантили.

**Квантилем, отвечающим заданному уровню вероятности  $p$** , называют такое значение  $x = x_p$ , при котором функция распределения принимает значение, равное  $p$ , т.е.

$$F(x_p) = p. \quad (6)$$

Если обозначить через  $f(x) \Delta x$  элементарную вероятность, то **математическое ожидание  $MX$**  непрерывно распределенной величины  $X$

$$MX = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx. \quad (7)$$

Математическое ожидание функции  $Y = \Phi(X)$  величины  $X$

$$MY = M[\Phi X] = \int_{-\infty}^{\infty} \Phi(X) f(x) dx. \quad (8)$$

Между частными значениями случайной величины и вероятностями их появления существует определенная зависимость. Указанная зависимость называется **законом распределения данной случайной величины**.

Закон распределения случайной величины может задаваться в виде таблицы, графика или формулы, например в виде плотности распределения  $f(x)$  или функции распределения  $F(x)$ .

Распределение относительных частот (частостей) называется **эмпирическим**, а распределение вероятностей – **теоретическим распределением**.

Поскольку случайные величины делятся на дискретные и непрерывные, имеются отвечающие им дискретные и непрерывные законы распределения случайных величин.

К **дискретным** относятся: биномиальный закон, гипергеометрическое распределение, закон Пуассона и т. п.

К **непрерывным** относятся: показательный (экспоненциальный) закон, нормальный закон, закон Вейбулла, гамма-распределение, логарифмически нормальное распределение и др.

На общее техническое состояние автомобиля (его агрегатов, систем, деталей), а следовательно, и на его надежность, работоспособность и потребительские свойства влияет ряд **случайных факторов**. Случайные воздействия являются доминирующими. Например, случайными могут быть качество, трудоемкость и периодичность технического обслуживания (ТО) или ремонта (Р), режим работы автомобилей на линии, качество горюче-смазочных материалов, дорожные и климатические условия, непостоянство механических свойств материала деталей автомобиля и т. д. Работа станции технического обслуживания (автоцентра) также зависит от случайных времени поступления автомобилей различных моделей, потока требований на конкретные услуги (работы) и трудоемкости их ТО и Р.

**Суммарное воздействие этих случайных факторов сказывается на интенсивности изнашивания деталей, частоте эксплуатационных отказов и изменении показателей работоспособности (надежности) автомобиля в целом.**

Согласно ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения» [1]:

«**Отказ** – это событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Отказ может быть полным или частичным. **Полный отказ** характеризуется переходом объекта в неработоспособное состояние. **Частичный отказ** характеризуется переходом объекта в частично неработоспособное состояние».

Различают отказы:

– **конструктивные**, т.е. возникшие по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленных правил и (или) норм проектирования и конструирования;



– **производственные**, т.е. возникшие по причине, связанной с несовершенством или нарушением установленного процесса изготовления или ремонта, выполняемого на ремонтном предприятии;

– **эксплуатационные**, т.е. возникшие по причине, связанной с нарушением установленных правил и (или) условий эксплуатации.

Для предупреждения отказов и неисправностей необходимо знать причины и механизмы их возникновения и проявления, а также их влияние на надежность (работоспособность) автомобиля в целом.

На практике возникает задача: как без раскрытия влияния каждого случайного фактора в отдельности спрогнозировать показатели надежности автомобиля, вероятность отказа его агрегатов, узлов и деталей в процессе эксплуатации, определить потребность в текущем и капитальном ремонте, т.е. выявить объективные закономерности и тенденции, сложившиеся на производстве.

Впоследствии, используя эти закономерности, можно наиболее эффективным образом управлять технологическими и производственными процессами на автомобильном транспорте, а также обеспечивать надежность, безопасность и экологичность как парка, так и конкретных автомобилей. Иначе говоря, организовать гибкую обратную связь – сфера производства – сфера эксплуатации – сфера сервиса.

Кроме этого, необходимо знать прогноз потребности в материалах, оборотных агрегатах и запасных частях, объемы выполняемых ремонтных работ, нормативы режимов ТО.

Эти и другие задачи можно решать с помощью **математического аппарата теории вероятностей, статистических методов исследований, теории надежности и диагностики.**

**Теория надежности** изучает процессы старения машин и их механизмов, т.е. закономерности изменения показателей их качества во времени (наработке). В свою очередь, **диагностика** – это отрасль знаний, изучающая формы проявления технических состояний, методы и средства обнаружения неисправностей и прогнозирования показателей надежности машин и их механизмов без разборки.

Теория надежности и диагностика дополняют друг друга. Диагностика является источником данных для теории надежности, на основе которых дается оценка показателей качества изделия. Теория надежности машин дает общие методы, позволяющие на основе достаточной статистической информации определить вероятность возникновения отказов в группе однотипных автотранспортных средств (АТС) без указания того, как будет вести себя отдельный автомобиль. Методы и приборы технической диагностики, в свою очередь, позволяют определить техническое состояние конкретной машины и реализовать потенциальную надежность, заложенную в каждом изделии.

Для определения количественных показателей (характеристик) надежности используется **статистический метод исследований**, а в качестве математического аппарата – **теория вероятностей**.

Данный метод предполагает следующий алгоритм:

- формируется задача с указанием объемов исследований и контрольных параметров;
- определяется необходимый объем выборки из генеральной совокупности (число контролируемых объектов);
- составляется методика замера контролируемых параметров или сбора исходной информации;
- выбираются средства измерения и производятся замеры (сбор информации);
- производится обработка статистических данных, и определяются характеристики (параметры) эмпирического распределения;
- выявляются грубые ошибки (промахи) наблюдений;
- производится проверка правдоподобия принятой гипотезы о следовании экспериментальных данных принятому теоретическому закону (нормальный, Вейбулла, показательный или др.);
- исходя из условия задачи, составляется прогноз, и решаются конкретные производственные проблемы.

По сути, на основе изучения закономерностей изменения технического состояния АТС под влиянием случайных факторов в процессе эксплуатации можно разрабатывать и применять научно обоснованные системы (стратегии) поддержания автомобилей в технически исправном состоянии, т.е. управлять их работоспособностью; реализовывать потенциальные свойства автомобиля, заложенные при его производстве, снижать эксплуатационные затраты (на содержание, ТО и Р) и уменьшать соответствующие простои, повышать эксплуатационную надежность их агрегатов, узлов, систем и деталей; обеспечивать эффективность перевозок при одновременном снижении их себестоимости.

## **1.2. Модели причинно-следственных связей и их применение при определении причин отказов автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей**

Эффективность профилактических работ по предотвращению отказов техники невозможна без установления их истинных причин, что является сложной и трудной задачей, требующей для своего решения разработки современных научных методов и технических средств исследования.

Это связано с тем, что современная техника насыщена большим количеством сложных и точных систем, агрегатов и узлов, находящихся в тесном взаимодействии и работающих в условиях высоких нагрузок, температур, давлений и вибраций.

Причиной отказа, возникшего в той или иной системе, может являться аномальная работа другой системы.

Особенно усложняется установление причин отказов техники, поврежденной в результате аварий, которые сопровождаются разрушением конструкции, значительными деформациями, повреждениями и даже уничтожением отдельных систем, например после возгорания техники.

Восстановить процесс возникновения и развития отказа можно в случае, когда будут раскрыты **причинно-следственные связи** между явлениями, произошедшими в процессе развития и проявления отказа или аварии.

Установление таких связей необходимо и для товароведческой экспертизы, поскольку отказ может произойти как следствие:

- **заводского дефекта**, что влечет ответственность производителя автомобиля как товара;

- **дефекта выполнения работ по техническому обслуживанию или ремонту**, что влечет ответственность производителя таких работ;

- **вмешательства в работу систем и агрегатов** владельца автотранспортного средства, что влечет соответственно его ответственность.

Согласно ГОСТ 27.002-2015 «Надежность в технике. Термины и определения» [1]:

«**Дефект** – каждое отдельное несоответствие объекта требованиям, установленным документацией.

**Повреждение** – событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния.

Дефект и (или) повреждение могут служить причиной возникновения частичного или полного отказа объекта. Наличие дефекта и (или) повреждения приводит объект в неисправное состояние».

**Постановка задачи** при разработке моделей причинно-следственных связей формулируется следующим образом [11].

Считаются **известными**:

- данные о конструкции объекта, его систем, узлов, агрегатов и деталей;

- функциональные связи между системами, узлами, агрегатами и деталями объекта техники при нормальной (исправной) его работе;

- теоретические и эмпирические зависимости в исследуемой области.

Считается **заданным** конечное главное следствие – существо проявления утраты работоспособности объекта (системы, агрегата).

Требуется:

- определить, какие при заданном конечном (главном) следствии должны были бы иметь место явления в функционально связанных системах, узлах, агрегатах и деталях объекта, а также на его деталях, узлах и агрегатах, не находящихся в такой связи;

- установить причинно-следственные связи между явлениями и определить возможные первопричины конечного (главного) следствия;
- на основании установленных причинно-следственных связей явлений составить модели этих связей.

### Метод **решения**:

- последовательное воспроизведение причинно-следственных связей между явлениями, могущими возникнуть на объекте при заданном конечном (главном) следствии; осуществляется на основании имеющихся теоретических и практических знаний о функциональных связях между деталями, узлами, агрегатами и системами объекта путем поэтапного выдвижения версий о непосредственных причинах и следствиях указанных явлений, начиная от заданного конечного следствия и кончая его первопричинами;
- фиксация установленных связей между причинами и следствиями в виде графического или матричного их изображения.

Одним из эффективных инструментов является **метод графов**, с помощью которого можно разработать модели причинно-следственных связей при отказах систем, агрегатов и узлов объекта с учетом взаимосвязей и взаимообусловленностей.

При разработке моделей причинно-следственных связей в качестве задаваемого конечного (главного) следствия должны выбираться наиболее вероятные (возможные) отказы объектов (систем, агрегатов), приводящие к потере их работоспособности (полной, частичной, временной).

В модели должны включаться только те явления, которые связаны:

- с **изменением параметров процессов**, характеризующих работу техники (например при уменьшении или увеличении температуры либо давления, либо числа оборотов);
- с **изменением взаимного расположения деталей** (например при увеличении зазоров, уменьшении натяга, перемещении деталей, смещении осей, заклинивании);
- с **изменением геометрических размеров деталей** (например при износе, разрушении, растяжении, сжатии);
- с **заполнением инертными материалами** (например при засорении).

Важно понять, как, каким образом и насколько сильно проявит себя дефект после своего возникновения, на что или кого повлияет (водителя, автомобиль, систему, узел).

При этом возможны различные **цепочки последствий дефекта**: дефекта конструкции и дефекта процесса технической эксплуатации автомобиля (рис. 1, 2 [17]).

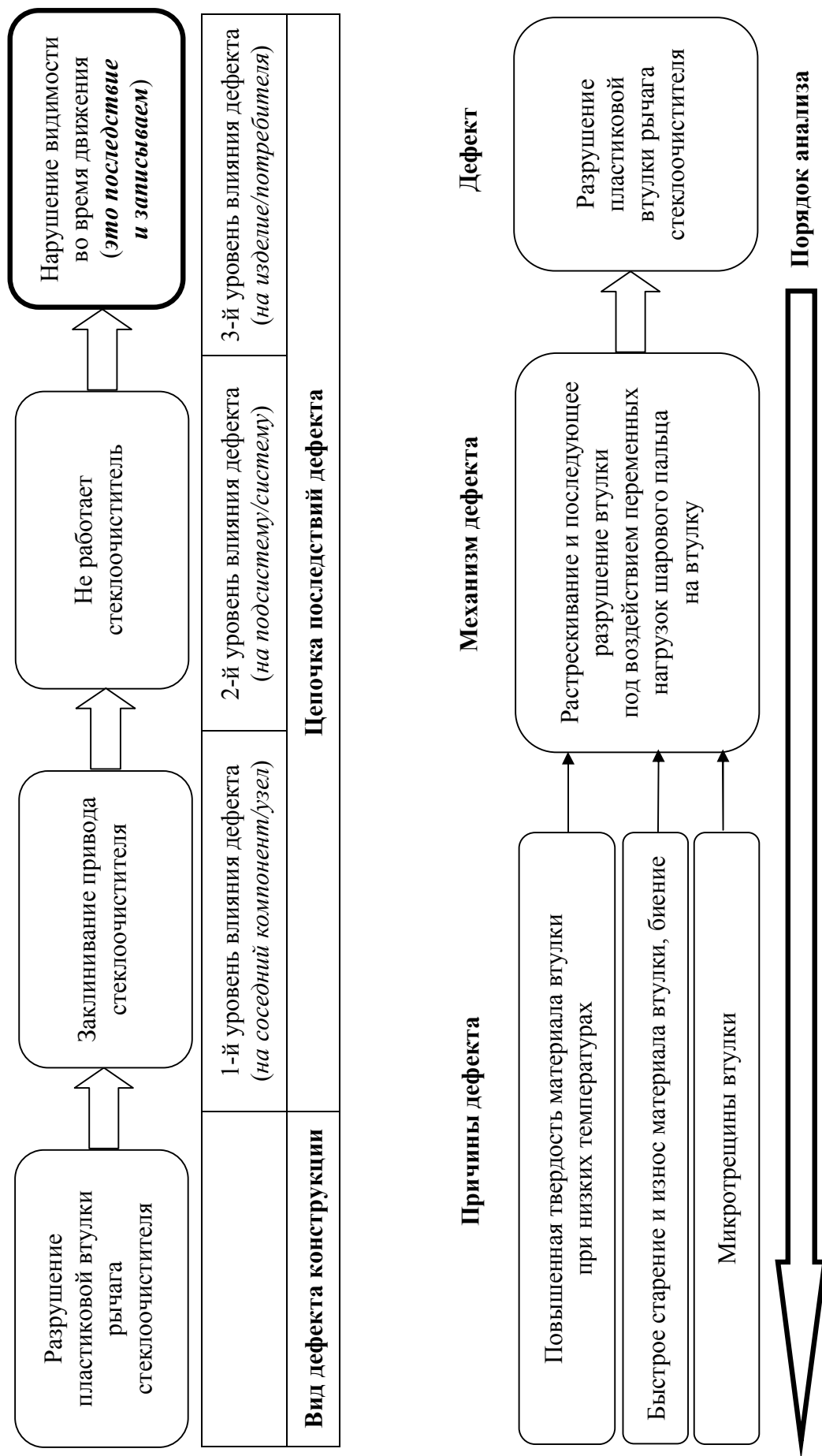


Рисунок 1 – Пример цепочки последствий дефекта конструкции

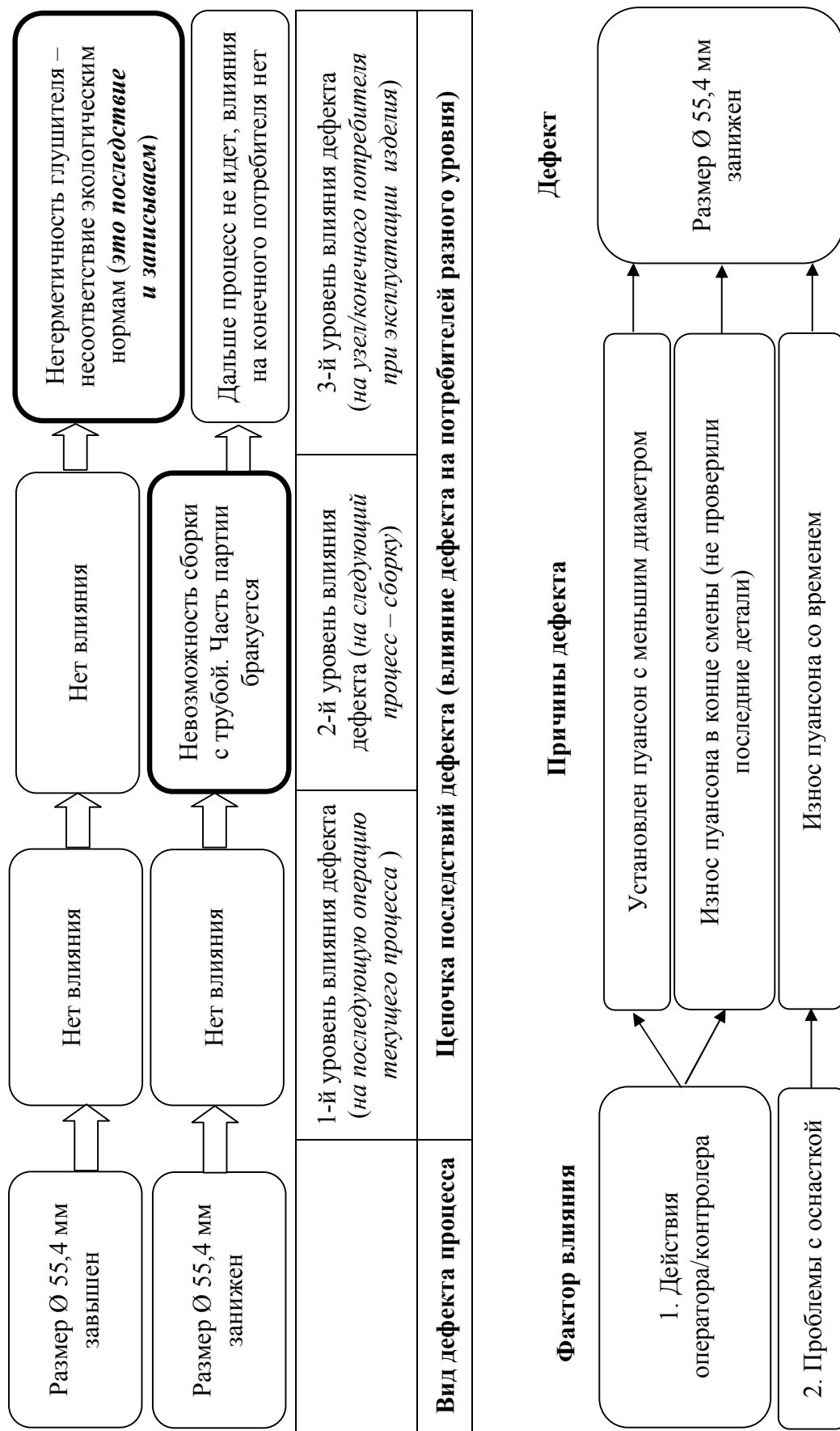


Рисунок 2 – Пример цепочки последствий дефекта процесса

## 2. УКАЗАНИЯ ПО ВЫПОЛНЕНИЮ КУРСОВОЙ РАБОТЫ

### 2.1. Содержание курсовой работы, требования к оформлению и защите

Курсовую работу выполняют и оформляют в виде расчетно-пояснительной записки объемом 20...30 страниц и графического материала на миллиметровой бумаге.

Для расчетно-пояснительной записки рекомендуется следующая структура.

Глоссарий (термины и определения).

Введение.

1. Моделирование причинно-следственных связей возникновения отказов автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей.

1.1. Моделирование причинно-следственных связей возникновения дефектов (повреждений либо деформаций) детали автомобиля (описать деталь, ее назначение в конструкции автомобиля; описать дефекты, повреждения либо деформации, приложить фототаблицу; определить причины возникновения дефектов, повреждений либо деформаций с составлением цепочки последствий дефекта конструкции; предложить мероприятия по предупреждению возникновения дефектов, повреждений либо деформаций).

1.2. Моделирование причинно-следственных связей возникновения отказов в системе автомобиля (описать систему, ее назначение в конструкции автомобиля; описать отказ в системе автомобиля, приложить фототаблицу (при необходимости); определить причины возникновения отказа в системе автомобиля с составлением цепочки последствий дефекта процесса технической эксплуатации автомобиля; предложить мероприятия по предупреждению возникновения отказа в системе автомобиля).

2. Применение статистического метода исследования надежности автомобилей, их агрегатов, узлов, систем и деталей (решение двух задач).

2.1. Прогнозирование объема восстановительных работ и потребности производства в запасных частях.

2.2. Установление закона распределения для наработки автомобиля (агрегатов, узлов, деталей), прогнозирование объема, периодичности или трудоемкости работ по техническому обслуживанию и ремонту, построение кривой отказа изделия.

Заключение.

Библиографический список.

В графической части предусматриваются необходимые схемы и графики.

Курсовая работа должна быть подписана обучающимся на титульном листе. Курсовая работа выполняется последовательно по мере изучения соответствующих тем дисциплины.

Курсовая работа оформляется в виде пояснительной записки и сдается преподавателю на проверку. Преподаватель, если это необходимо, возвращает курсовую работу обучающемуся на доработку и устранение недостатков.

Защита курсовой работы заключается в том, что обучающийся дает пояснения по существу сделанных изменений и отвечает на вопросы преподавателя (комиссии).

При оценке курсовой работы учитывается своевременность сдачи работы, правильность и аккуратность, а также результаты защиты.

Обучающиеся, не сдавшие курсовую работу или получившие на защите неудовлетворительные оценки, к экзамену не допускаются.

## 2.2. Исходные данные для выполнения курсовой работы

При выполнении учебного задания выбрать в соответствии со своим вариантом (табл. 2 и 3) исходные данные.

Номер варианта соответствует последней цифре номера студенческого билета и начальной букве фамилии обучающегося (табл. 1).

Таблица 1

Варианты исходных данных задания для выполнения работы

Начальная буква фамилии обучающегося	Последняя цифра номера студенческого билета									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
АЕЛРХ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	0
БЖМСЧ	0	9	8	7	6	5	4	3	2	1
ВЗНТЮЯ	3	6	4	8	5	7	2	1	0	9
ГИОУШ	4	5	3	2	1	8	9	0	7	6
ДКПФШЭ	7	1	2	9	0	3	8	5	6	4

Для выполнения работы необходимо собрать на производстве (заполнить таблицы по форме, указанной в прил. 1 и 2) или выбрать в соответствии с вариантом учебное задание (см. табл. 2 или 3) и обработать статистические данные.

Для табл. 2 приняты следующие обозначения:

- $D_n$  – номинальный размер параметра детали;
- $D_o$  – допустимый размер параметра для повторного использования детали без ремонта (восстановления).



Таблица 2

Задание по обработке статистических данных об износах деталей по исследуемым параметрам  $\omega_i$  (мкм)

Но- мер де- тали	Статистические данные об износах деталей (принять по последней цифре номера студенческого билета)									
	0 <sup>2</sup>	1 <sup>3</sup>	2 <sup>4</sup>	3 <sup>5</sup>	4 <sup>6</sup>	5 <sup>7</sup>	6 <sup>8</sup>	7 <sup>9</sup>	8 <sup>10</sup>	9 <sup>11</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	150,05	140,05	120,05	90,065	32,020	26,065	12,010	159,985	215,002	155,987
2	150,14	140,03	120,07	90,010	32,025	26,010	12,000	159,979	214,986	155,985
3	150,14	140,01	120,11	90,010	32,013	26,010	12,037	159,979	214,990	155,983
4	150,12	140,05	120,11	90,010	32,024	26,010	12,010	159,970	214,991	155,994
5	150,20	140,11	120,12	90,005	32,021	26,005	12,003	159,979	214,994	155,993
6	150,16	140,01	120,06	90,013	32,029	26,013	12,028	159,983	214,995	155,995
7	150,05	140,05	120,13	90,007	32,023	26,007	12,020	159,975	215,000	155,996
8	150,26	140,09	120,13	90,013	32,026	26,013	12,016	159,981	214,993	155,992
9	150,23	140,09	120,07	90,007	32,010	26,007	12,031	159,979	214,975	155,993
10	150,20	140,01	120,11	90,014	32,015	26,014	12,044	159,977	214,979	155,993
11	150,08	140,07	120,12	90,006	32,022	26,017	12,034	159,990	214,992	155,991
12	150,25	140,07	120,13	90,017	32,012	26,016	12,048	159,979	214,993	155,990
13	150,23	140,01	120,07	90,016	32,024	26,011	12,017	159,990	214,990	155,986
14	150,00	140,09	120,07	90,016	32,024	26,011	12,017	159,990	214,990	155,986
15	150,21	140,01	120,11	90,011	32,027	26,016	12,019	159,975	214,996	155,983
16	150,16	140,09	120,12	90,016	32,011	26,017	12,016	159,983	214,994	155,990
17	150,08	140,07	120,13	90,017	32,017	26,019	12,028	159,977	214,995	155,993
18	150,20	140,07	120,15	90,019	32,023	26,006	12,005	159,921	214,980	155,992
19	150,22	140,07	120,11	90,020	32,030	26,020	12,020	159,981	214,984	155,992
20	150,17	140,11	120,07	90,013	32,011	26,013	12,024	159,977	214,983	155,993
21	150,16	140,03	120,07	90,022	32,009	26,022	12,016	159,983	214,985	155,986
22	150,16	140,05	120,09	90,013	32,021	26,013	12,007	159,979	214,986	155,985
23	150,15	140,01	120,08	90,014	32,015	26,014	12,013	159,972	214,993	155,983
24	150,12	140,03	120,09	90,010	32,022	26,010	12,020	159,979	214,972	155,984
25	150,16	140,05	120,09	90,024	32,020	26,024	12,065	159,974	214,992	155,980
26	150,17	140,01	120,10	90,012	32,007	26,012	12,010	159,981	214,993	155,995
27	150,11	140,03	120,13	90,014	32,016	26,014	12,010	159,981	214,990	155,994
28	150,16	140,05	120,13	90,016	32,010	26,016	12,010	159,977	214,983	155,996
29	150,28	140,03	120,15	90,018	32,022	26,018	12,005	159,983	214,987	155,996
30	150,12	140,03	120,13	90,019	32,024	26,019	12,023	159,979	214,986	155,990
31	150,16	140,05	120,09	90,000	32,015	26,000	12,007	159,985	214,990	155,990

<sup>2</sup>  $D_n = 150$  мкм,  $D_o = 150,07$  мкм.

<sup>3</sup>  $D_n = 140$  мкм,  $D_o = 140,07$  мкм.

<sup>4</sup>  $D_n = 120$  мкм,  $D_o = 120,06$  мкм.

<sup>5</sup>  $D_n = 90$  мкм,  $D_o = 90,06$  мкм.

<sup>6</sup>  $D_n = 32$  мкм,  $D_o = 32,02$  мкм.

<sup>7</sup>  $D_n = 26$  мкм,  $D_o = 26,03$  мкм.

<sup>8</sup>  $D_n = 12$  мкм,  $D_o = 12,03$  мкм.

<sup>9</sup>  $D_n = 160$  мкм,  $D_o = 159,98$  мкм.

<sup>10</sup>  $D_n = 215$  мкм,  $D_o = 214,99$  мкм.

<sup>11</sup>  $D_n = 155$  мкм,  $D_o = 155,99$  мкм.

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
32	150,20	140,00	120,09	90,028	32,019	26,028	12,013	159,972	214,991	155,993
33	150,25	140,00	120,11	90,002	32,005	26,002	12,007	159,983	214,993	155,992
34	150,21	140,03	120,17	90,016	32,030	26,016	12,014	159,977	214,993	155,979
35	150,19	140,02	120,11	90,018	32,020	26,018	12,006	159,985	214,992	155,975
36	150,24	140,00	120,15	90,012	32,018	26,012	12,017	159,981	214,996	155,993
37	150,12	140,06	120,14	90,050	32,016	26,050	12,016	159,975	214,995	156,000
38	150,14	140,11	120,15	90,008	32,014	26,008	12,011	159,977	214,993	155,995
39	150,22	140,07	120,17	90,007	32,020	26,007	12,011	159,981	214,994	155,994
40	150,24	140,05	120,18	90,016	32,017	26,016	12,016	159,979	214,983	155,991
41	150,28	140,05	120,11	90,024	32,012	26,024	12,017	159,979	214,985	155,990
42	150,14	140,03	120,17	90,020	32,018	26,020	12,019	159,983	214,987	156,002
43	150,05	140,09	120,09	90,005	32,020	26,005	12,008	159,979	215,005	156,005
44	150,12	140,05	120,20	90,028	32,013	26,028	12,050	159,981	215,005	156,000
45	150,20	140,07	120,18	90,016	32,020	26,016	12,012	159,979	214,995	155,995
46	150,14	140,07	120,13	90,019	32,016	26,019	12,018	159,981	214,998	155,998
47	150,15	140,07	120,12	90,013	32,020	26,013	12,016	159,975	214,993	155,993
48	150,21	140,09	120,11	90,017	32,022	26,017	12,002	159,981	214,990	155,990
49	150,17	140,11	120,10	90,048	32,016	26,048	12,028	159,977	214,998	155,998
50	150,22	140,05	120,09	90,034	32,020	26,034	12,000	159,979	214,995	155,995
51	150,12	140,05	120,09	90,044	32,016	26,044	12,019	159,979	214,998	155,998
52	150,06	140,07	120,19	90,031	32,022	26,031	12,018	159,992	214,990	155,990
53	150,16	140,07	120,07	90,016	32,020	26,016	12,016	159,977	214,986	155,986
54	150,18	140,03	120,13	90,020	32,016	26,020	12,014	159,981	214,995	155,995
55	150,19	140,03	120,15	90,028	32,020	26,028	12,012	159,979	214,993	155,993
56	150,23	140,03	120,13	90,003	32,025	26,003	12,024	159,983	214,990	155,993
57	150,25	140,05	120,14	90,010	32,020	26,010	12,010	159,979	214,993	155,990
58	150,18	140,03	120,16	90,037	32,032	26,037	12,014	159,979	214,990	155,990
59	150,19	140,01	120,11	90,000	32,020	26,000	12,013	159,975	214,991	155,991
60	150,13	140,05	120,11	90,000	32,028	26,000	12,022	159,987	214,986	155,986

Таблица 3

Наработки изделий до предельного состояния  
(ремонта или списания)  $L_i$  (тыс. км)

Последняя цифра номера студенческого билета									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
251,7	235,8	238,4	241,1	243,7	246,4	249,0	254,3	257,0	259,6
201,4	188,7	190,9	193,0	195,1	197,2	199,3	203,6	205,7	208,2
192,9	180,7	182,7	184,7	186,8	188,8	190,8	194,9	196,2	198,9
70,0	65,6	66,3	67,8	68,5	69,3	70,8	71,8	71,5	74,2
198,9	186,3	188,4	190,5	192,6	194,7	196,8	201,0	203,1	205,6
133,5	125,0	126,4	127,9	129,3	130,7	132,1	134,9	136,3	139,0
191,0	179,0	181,0	183,0	185,0	187,0	189,0	193,1	195,1	197,7
260,6	244,1	246,9	249,6	252,4	255,4	257,8	263,3	266,1	268,8
173,2	162,2	164,1	165,9	167,7	168,1	171,4	175,0	176,8	179,5
223,1	209,0	211,4	213,7	216,1	218,4	220,8	225,5	227,8	229,9
234,0	219,2	221,7	224,1	226,6	229,1	231,5	236,4	238,9	241,6

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
255,3	239,2	241,9	244,6	247,3	249,9	252,6	258,0	260,7	263,3
227,3	212,9	211,3	217,7	220,1	222,5	224,9	229,7	232,1	234,8
144,3	135,1	136,7	138,2	139,7	141,2	142,7	145,8	147,3	149,9
238,5	223,5	226,0	228,5	231,0	233,5	236,0	241,0	243,6	246,3
167,6	157,0	158,8	160,5	161,3	164,0	165,8	169,3	171,1	178,7
250,8	234,9	237,6	240,2	242,8	245,5	248,0	253,4	256,0	258,8
217,1	203,4	205,7	208,1	210,3	212,6	214,8	219,4	221,7	224,4
102,1	95,6	96,7	97,8	98,9	99,9	101,0	103,2	104,2	106,9
199,2	186,6	188,7	190,8	192,9	195,0	197,1	201,3	203,4	206,1
246,6	231,0	233,6	236,2	238,8	241,4	244,0	249,2	251,8	254,5
256,2	240,0	242,7	245,4	248,1	250,8	253,5	258,9	261,6	264,3
163,6	153,3	155,0	156,7	158,5	160,2	161,9	165,4	167,1	169,8
192,2	180,1	182,1	184,1	186,1	188,1	190,2	194,2	196,2	198,8
205,2	192,3	194,5	196,6	198,8	200,9	203,1	207,4	209,6	212,3
329,9	309,1	312,5	316,0	319,5	322,9	326,4	333,4	366,8	339,5
283,8	265,8	268,8	271,3	274,8	277,8	280,8	286,8	289,7	292,4
177,7	166,5	168,4	170,3	172,1	174,0	175,9	179,6	181,5	184,2
209,6	198,3	196,5	200,7	203,7	205,2	207,4	211,8	214,0	216,7
233,0	218,3	220,8	223,2	225,7	226,1	230,6	235,5	237,9	240,6
165,6	155,2	156,9	158,7	160,4	162,1	163,9	167,4	169,1	172,1
165,7	154,6	156,4	158,1	159,8	161,6	163,3	166,8	168,5	171,2
218,3	204,5	206,8	209,1	211,4	213,7	216,0	220,6	229,9	225,6
231,8	217,2	219,6	222,1	224,5	227,0	229,4	234,3	236,7	239,4
145,6	136,4	138,0	139,5	141,0	142,6	144,1	147,2	148,7	151,4
265,0	248,3	251,1	253,8	266,6	159,4	262,2	267,8	270,6	273,3
197,6	185,2	187,3	189,3	191,4	193,5	195,6	199,7	201,8	293,5
246,0	230,5	233,1	235,6	238,2	240,8	243,4	248,6	251,2	253,9
139,9	131,1	132,5	134,0	135,6	136,9	138,4	141,9	142,8	145,5
190,3	178,3	180,3	182,3	184,3	166,3	188,3	192,3	194,3	197,0
226,5	212,2	214,6	214,0	219,4	221,8	224,1	228,9	231,7	234,0
236,1	221,2	223,7	226,2	228,8	231,2	233,6	238,6	241,1	243,8
223,8	209,7	212,0	214,4	216,8	219,1	221,5	226,2	226,5	231,2
241,8	226,5	229,1	231,6	234,1	236,7	239,2	244,3	246,9	249,6
160,0	149,9	151,6	153,3	155,0	156,7	158,3	161,7	163,4	166,1
118,7	111,2	112,5	113,7	115,0	116,2	117,4	120,0	121,2	123,9
166,8	156,3	158,0	159,8	161,6	163,3	165,1	168,6	170,3	173,0
182,3	170,8	172,7	174,6	176,5	178,5	180,4	184,2	186,1	188,8
183,5	171,9	173,9	175,8	177,7	179,7	181,6	185,5	197,4	191,1
239,1	224,0	226,5	220,0	231,5	234,0	236,6	241,6	244,1	246,8
199,6	187,0	189,1	191,2	193,3	195,4	197,5	201,7	203,8	206,5
211,3	197,9	200,2	202,4	204,6	206,8	209,1	213,5	215,7	218,4
225,5	211,3	213,7	216,0	216,4	220,8	223,2	227,9	230,3	239,0
157,2	147,3	140,9	150,6	152,3	153,9	155,6	158,9	160,5	163,2
225,9	211,6	214,0	216,4	218,8	221,2	223,5	228,3	230,7	233,4
113,1	106,0	107,2	108,4	109,6	110,8	112,0	114,3	115,5	118,2
173,6	162,6	164,5	166,3	168,1	170,0	171,8	175,4	177,3	180,0
165,7	155,3	197,0	158,7	160,5	162,2	164,0	167,5	169,2	171,9
92,6	86,7	87,7	88,7	89,7	90,6	91,6	93,6	94,5	97,2
168,3	157,7	159,4	161,2	163,0	164,7	166,5	170,1	171,8	174,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
179,6	168,3	170,2	172,1	174,0	175,9	177,8	181,5	183,4	166,1
255,2	239,1	841,7	244,4	247,1	249,8	252,5	257,9	260,5	263,2
200,7	188,0	190,1	192,2	194,4	196,5	198,6	202,8	204,9	207,6
208,0	194,8	197,0	199,2	201,4	203,6	205,8	210,1	212,3	215,0
226,1	211,9	214,2	216,6	219,1	221,4	223,8	228,5	230,9	233,6
198,6	186,1	188,2	190,2	192,3	194,4	196,5	200,7	202,8	205,5

### 2.3. Сбор статистических данных на производстве

Сбор статистических данных по эксплуатационной надежности автомобилей производится в соответствии с заданием преподавателя на автотранспортном или авторемонтном предприятии. Объем выборки должен быть  $N \geq 30$  объектов наблюдений, взятых случайным образом (согласно таблице, заполненной по форме прил. 1).

Сбор статистических данных по износу параметров деталей, объем выборки  $N \geq 50$  деталей ремонтного фонда (согласно таблице, заполненной по форме прил. 2).

### 2.4. Формулировка практических задач

В соответствии со специализацией решаются указанные ниже задачи.

**Первая задача.** Используя статистический метод исследования износов деталей, поступающих в ремонт, спрогнозировать объем восстановительных работ и потребности производства в запасных частях. Для этого по результатам замеров параметров деталей (согласно таблице, заполненной по форме прил. 2) необходимо выполнить следующее.

1. Проверить достаточность объема обследуемых деталей или агрегатов (представительность выборки).
2. Построить таблицу с указанием частот попадания измеренных значений исследуемого параметра в интервалы, на которые мы разбиваем весь диапазон его изменения (табл. 4).
3. Определить характеристики эмпирического распределения выборки.
4. Выявить грубые ошибки (промахи) измерений, исключить их из объема обследуемых деталей.
5. Провести проверку гипотезы о случайности выборки.
6. Подобрать теоретический закон, аппроксимирующий экспериментальные данные. Построить гистограмму распределения опытных данных и кривую теоретического закона, описывающего их.
7. Проверить по критерию согласия гипотезу о следовании экспериментальных данных выбранному теоретическому закону.

8. Определить доверительный интервал разброса среднего результата измеряемой величины при заданном уровне значимости.

9. Определить долю годных и восстанавливаемых деталей, а также необходимое количество запасных частей.

**Вторая задача.** Используя информацию о наработках автомобилей (агрегатов, узлов, деталей) до интересующего нас состояния (до технического обслуживания ТО-1 или ТО-2, до текущего ремонта (ТР) или капитального ремонта (КР)), определить закон их распределения, спрогнозировать объем, периодичность или трудоемкость технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) и построить кривую отказа изделия.

Для этого сначала выполнить пп. 1–7 первой задачи, а затем:

8. Построить кривую отказа автомобиля (агрегата, узла, детали).

9. Определить долю отказавших автомобилей (агрегатов, узлов, деталей) при заданной преподавателем наработке, трудоемкость или периодичность ТО (Р) в соответствии с поставленной задачей.

### 3. МЕТОДИКА РЕШЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАДАЧ

#### 3.1. Определение необходимого объема выборки

Для установления закона распределения случайной величины выборка должна быть случайной, однородной и представительной.

На этапе планирования эксперимента возникает необходимость априорной оценки минимально необходимых объемов выборок по всем исследуемым объектам (автомобили, агрегаты и составляющие их детали), позволяющих получить достоверные и достаточно точные результаты при рациональных временных, материальных и трудовых затратах.

При оценке надежности автомобиля (агрегата) в целом необходимый объем выборки  $N$  обычно принимают 30...100 объектов наблюдений или рассчитывают, используя табл. 9, 10, 11 и рис. 16 [13] в зависимости от величины коэффициента вариации  $V$  распределения исследуемой случайной величины  $X$ , который определяется по формуле (3.5) [13] или принимается равным полученному при аналогичных исследованиях, проводимых ранее.

При планировании необходимого числа замеров различных параметров деталей пользуются формулой

$$N = \frac{t_{\alpha}^2 \sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (9)$$

где  $N$  – объем выборки;

$t_{\alpha}$  – критерий Стьюдента при заданной доверительной вероятности  $\alpha$  (для расчетов  $\alpha = 0,95$  и  $t_{\alpha} = 1,96$  или  $\alpha = 0,90$  и  $t_{\alpha} = 1,64$ );

$\varepsilon$  – абсолютная предельная ошибка измерения, соответствует абсолютной погрешности измерительного прибора и определяется по паспорту на данный инструмент;

$\sigma$  – среднее квадратическое отклонение выборки, определяется по формуле (15) или принимается равным полученному при аналогичных исследованиях ранее.

**Пример 1.** Определить объем выборки  $N$ , если задано  $\alpha = 0,95$  и в предыдущих исследованиях  $\sigma$  наблюдаемой величины было равно 0,03, а абсолютная погрешность измерительного прибора  $\varepsilon = 0,01$  мм.

$$\text{Согласно формуле (9)} \quad N = \frac{1,96^2 \cdot 0,03^2}{0,01^2} \approx 35 \text{ шт.}$$

Для выполнения практической работы число исследуемых деталей можно принять  $N \geq 30$ .

При выборе модели прибора для измерений необходимо учесть следующее [9]:

- а) прибор должен использоваться для измерения конкретного размера;
- б) выбор прибора должен проводиться с учетом возможности его доступа для измерения исследуемого параметра;
- в) диапазон измерения отсчетного устройства должен превышать допуск IT на изготовление детали;
- г) погрешность средства измерения должна быть меньше на 20...50 % погрешности измерений.

### 3.2. Исключение грубых погрешностей (ошибок) измерений

При проведении экспериментальных исследований могут быть получены результаты, резко отличающиеся от среднего результата данной серии наблюдений:

- вследствие ошибки в отчетах показаний измерительного прибора,
- ошибки в вычислениях при измерении,
- ошибки из-за неправильного использования средств измерений,
- ошибки, возникшей из-за невнимательности наблюдателя [22].

Наиболее надежным средством исключения грубых погрешностей (ошибок) является браковка подозрительных результатов наблюдений, когда для этого имеются достаточные основания в обстановке самого эксперимента.

Если этот момент упущен, то для обеспечения высокой точности, статистической однородности полученных экспериментальных данных и повышения эффективности (корректности) использования статистических методов моделирования случайных процессов проводится отсев резко выделяющихся наблюдений с применением аппарата теории проверки статистических гипотез [5, 22].

В качестве критерия исключения грубых погрешностей (ошибок) используют, например, **область допустимых значений параметра**. Если значение параметра окажется в данной области, то мы можем полагать, что наблюдаемое значение не является ошибочным.

Для определения области допустимых значений случайной величины  $X$  возможно использование правила «трех среднеквадратических отклонений  $\sigma$ » ( $3\sigma$ ). Рассмотрим применение данного правила на примере.

**Пример 2.** Пусть в результате наблюдений было получено шесть значений какой-либо случайной величины  $X$ : 4; 5; 6; 16; 7; 3.

Измерение  $X = 16$  вызывает подозрение, так как оно заметно отличается от остальных. Для решения поставленной задачи исключим  $X = 16$  и для оставшихся результатов измерений вычислим числовые характеристики.

$$\text{Тогда среднее значение } X_{cp} = \frac{4 + 5 + 6 + 7 + 3}{5} = 5.$$

Среднеквадратическое отклонение определяется по формуле

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - X_{cp})^2}{n-1}}. \quad (10)$$

Подставляя известные значения, получаем

$$\sigma(X) = \sqrt{\frac{(4-5)^2 + (5-5)^2 + (6-5)^2 + (7-5)^2 + (3-5)^2}{5-1}} = 2,5.$$

Допустимый разброс случайной величины от ее среднего значения

$$I_0 = [X_{cp} - 3\sigma; X_{cp} + 3\sigma] = [5 \pm 3 \cdot 2,5] = [-2,5; 12,5]. \quad (11)$$

Следовательно, измерение, когда  $X = 16$  не входит в область допустимых значений, надо считать грубой ошибкой и из выборки исключить.

### 3.3. Проверка гипотезы о случайности выборки

Для описания и изучения свойств генеральной совокупности по выборке из нее необходимо, чтобы выборка была **репрезентативной**. Репрезентативной может быть только случайная выборка.

Для проверки случайности выборки используют два способа:

- способ последовательных разностей [23];
- способ числа и длины серий [22, 23].

### 3.4. Определение характеристик эмпирического распределения

При обработке статистических данных с помощью выборочного метода, т.е. при установлении теоретического закона распределения изучаемой случайной величины  $X$  износов деталей  $\omega_i$  или наработок объектов  $L_i$  и параметров этого распределения, необходимо исключить грубые погрешности измерений, составить таблицу распределения значений случайной величины в выборке, вычислить статистические характеристики эмпирического распределения, подобрать теоретический закон, описывающий экспериментальные данные и его параметры, построить эмпирическую гистограмму и теоретическую кривую распределения и по критерию согласия оценить близость эмпирического распределения и аппроксимирующего его теоретического закона.

При составлении таблицы исходных данных для расчета все наблюдаемые значения параметров деталей  $\omega_i$  или наработок объектов  $L_i$  берутся из задания (см. табл. 2 или 3). Расчеты для исследовательской работы в зависимости от решаемой задачи оформляются в таблицах, представленных в прил. 1 и 2.

Задача решается следующим образом.

1. Группируются эмпирические данные. Полученная статистика наработок объектов (агрегатов, узлов, деталей) или замеров параметров деталей распределяется по эквидистантным интервалам.

Число интервалов  $K$  должно быть не менее 7.

Величина интервала группирования

$$\Delta X = \frac{X_{\max} - X_{\min}}{K}, \quad (12)$$

где  $X_{\max}$  и  $X_{\min}$  – соответственно наибольшее и наименьшее значения случайной величины в выборке.

Далее заполняется таблица, аналогичная табл. 4

2. Определяются числовые характеристики распределения случайной величины  $X$ :

а) математическое ожидание или среднее значение

$$X_{cp} = \sum_{i=1}^K \frac{\overline{X}_i - m_{\omega i}}{N}, \quad (13)$$

где  $N = \sum_{i=1}^K m_{\omega i}$  – общее число объектов в выборке;



$X_i$  – середина  $K$ -го интервала;

$m_{эi}$  – опытные частоты попадания в интервалы.

Таблица 4

Экспериментальные данные в удобной для расчетов форме

Но- мер ин- тер- вала	Граница интервалов $[X_i; X_{i+1}]$ , от $X_{\min}$ до $X_{\max}$	Середина интервалов $\bar{X}_i$	Подсчет частот попадания в интервалы $m_{эi}$		$\bar{X}_i m_{эi}$	$\bar{X}_i - X_{cp}$	$(\bar{X}_i - X_{cp})^2$	$(X_i - X_{cp})^2$ $m_{эi}$
			в услов- услов- ных обозна- чениях	в цифрах				
1	от $X_{\min}$ до $(X_{\min} + 1\Delta)$	$(X_1 + X_2)/2$	***	$m_{э1}$				
2	Свыше $(X_{\min} + 1\Delta)$ до $(X_{\min} + 2\Delta)$	$(X_2 + X_3)/2$	*****	$m_{э2}$				
...	...	...	...	...				
K	Свыше $(X_{\max} - 1\Delta)$ до $X_{\max}$	$(X_{K-1} + X_K)/2$	**	$m_{эK}$				
			$\Sigma = N$		$\Sigma^* =$			$\Sigma^{**} =$

Проверка выполняется по формуле (см. табл. 4)

$$X_{cp} = \frac{\Sigma^*}{N}; \quad (14)$$

б) среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\frac{K}{K-1} \left( \sum_{i=1}^K \frac{\bar{X}_i^2 m_{эi}}{N} - X_{cp}^2 \right)}. \quad (15)$$

Проверка правильности вычисления выполняется по формуле

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma^{**}}{N}}; \quad (16)$$

в) коэффициент вариации

$$V = \frac{\sigma}{X_{cp}}. \quad (17)$$

3. Выдвигается гипотеза о следовании распределения тому или иному теоретическому закону.

Если коэффициент вариации  $V \leq 0,33$ , то распределение обычно следует нормальному закону, а если  $0,33 < V \leq 0,9$ , то экспериментальные данные описываются законом Вейбулла, а если  $V > 0,9$  – экспоненциальным (показательным) законом.

Следует отметить, что закон Вейбулла является универсальным. При значении параметра формы  $b \approx 1$  он преобразуется в показательный закон, при  $b \approx 2$  – в закон Релея, а при  $b \approx 3,25$  – в нормальный закон (рис. 3).

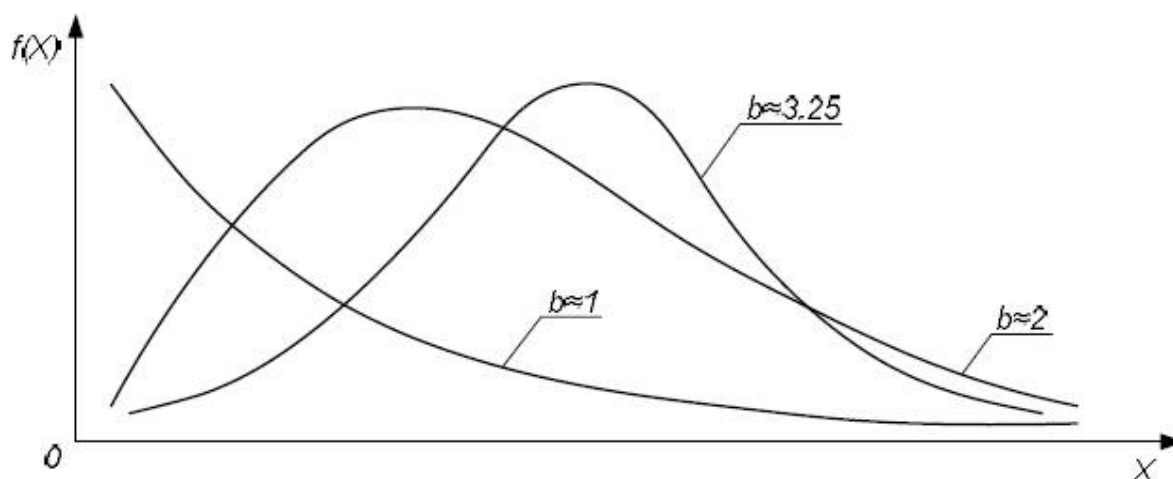


Рисунок 3 – График распределения плотности вероятности  $f(x)$  закона Вейбулла

Плотность вероятности нормального закона имеет следующий вид:

$$f(X_i) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X_i - X_{cp})^2}{2\sigma^2}}, \quad (18)$$

а закона Вейбулла –

$$f(X_i) = \frac{b}{a} \left(\frac{X_i}{a}\right)^{b-1} e^{-\left(\frac{X_i}{a}\right)^b}, \quad (19)$$

где  $X_i$  – любое значение наработки объекта  $L_i$  до интересующего состояния или величины отклонения (износа) параметра детали  $\omega_i$ ;

$a$  – параметр масштаба закона Вейбулла.

$$a = \frac{X_{cp}}{\Gamma(\alpha)}, \quad (20)$$

где  $\Gamma(\alpha)$  – гамма-функция Эйлера, определяется для  $\alpha = (1+1/b)$  по прил. 3;  
 $b$  – параметр формы, определяется для найденного по формуле (17) значения коэффициента вариации  $V$  (прил. 4).

### 3.5. Проверка правдоподобности принятой гипотезы

Проверяется правдоподобность принятой гипотезы, т.е. степень согласия экспериментальных данных и аппроксимирующего их теоретического закона, при помощи критерия согласия  $\chi^2$  Пирсона.

Должно выполняться неравенство

$$P(\chi^2; r) > 0,1, \quad (21)$$

где  $P(\chi^2; r)$  – значение вероятности закона Пирсона в зависимости от числа степеней свободы  $r$  и величины  $\chi^2$ ; определяется по прил. 4.

Величина критерия согласия  $\chi^2$  Пирсона

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^n \frac{(m_{\text{э}i} - m_{mi})^2}{m_{mi}}, \quad (22)$$

где  $m_{mi}$  – теоретические частоты попадания в интервалы:

$$m_{mi} = f(\bar{X}_i) \Delta X N, \quad (23)$$

где  $f(\bar{X}_i)$  – значения плотности вероятности для середин  $i$ -х интервалов разбиения выборки, определяются по формуле (18) или (19) в зависимости от выбранного теоретического закона.

Число степеней свободы

$$\nu = (K - 3), \quad (24)$$

где  $K$  – число интервалов разбиения выборки.

Если выполняется неравенство (21), то гипотеза о следовании экспериментальных данных принятому теоретическому закону не опровергается.

В противном случае следует подобрать другой теоретический закон или увеличить объем исходной информации и расчет провести повторно.

Для упрощения проводимых расчетов заполняется табл. 5.

Таблица 5

Результаты обработки статистических данных

Граница интервалов разбиения выборки $[X_i - X_{i+1}]$	Середина интервалов $\bar{X}_i$	Опытная частота попадания в интервалы $m_{эi}$	Плотность вероятностей $f(\bar{X}_i)$ , см. формулу (18) или (19)	Теоретическая частота попадания в интервалы $m_{mi}$ , см. формулу (23)
$X_1 - X_2$	$\bar{X}_1$	$m_{э1}$	$f(\bar{X}_1)$	$m_{m1}$
$X_2 - X_3$	$\bar{X}_2$	$m_{э2}$	$f(\bar{X}_2)$	$m_{m2}$
...	...	...	...	...
$X_{K-1} - X_K$	$\bar{X}_K$	$m_{эK}$	$f(\bar{X}_K)$	$m_{mK}$
		$\Sigma_{эi} =$		$\Sigma_{mi} =$

Для величин  $\Sigma_{эi}$  и  $\Sigma_{mi}$  должно выполняться  $\Sigma_{эi} \approx \Sigma_{mi}$ .

### 3.6. Построение гистограммы распределения экспериментальных данных и кривой теоретического закона, их описывающего

Пример гистограммы распределения экспериментальных данных и кривой теоретического закона, их описывающего, приведен на рис. 4.

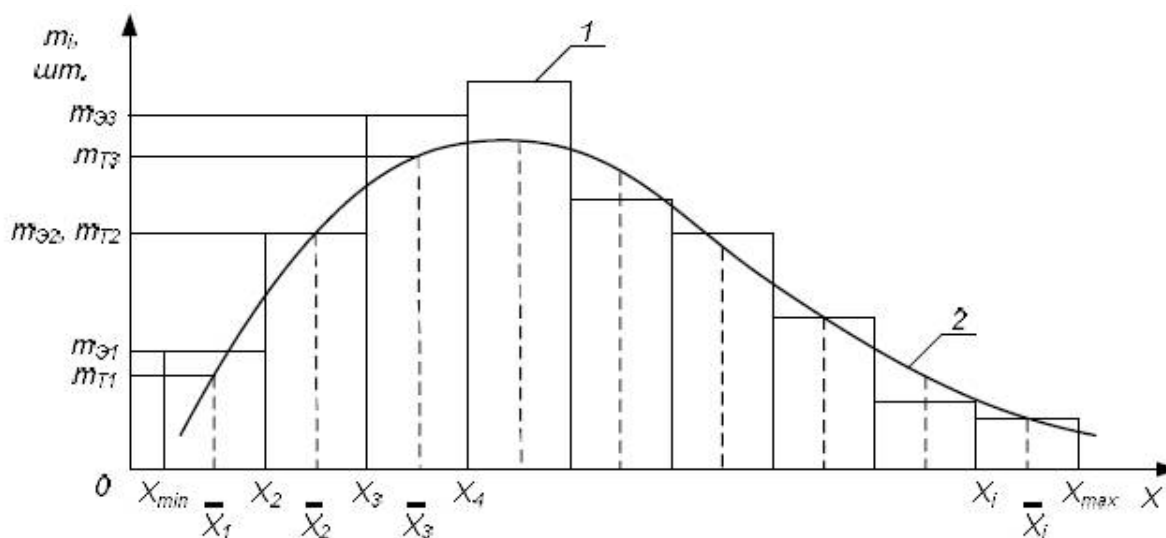


Рисунок 4 – Гистограмма распределения случайной величины  $X$  (1) и выравнивающая ее теоретическая кривая  $f(X)$  (2)

### 3.7. Определение доверительных интервалов рассеивания среднего результата исследуемой случайной величины

Нижний  $X_n$  и верхний  $X_e$  доверительные пределы рассеивания значений случайной величины  $X$  для заданной доверительной вероятности  $P_\delta$ :

$$I_D = \{X_{cp} - \delta < X_{cp} < X_{cp} + \delta\}, \quad (25)$$

где  $I_\delta$  – величина доверительного интервала рассеивания значений случайной величины  $X$  для заданной  $P_\delta$ ;

$$\delta = \frac{\sigma \Phi}{\sqrt{K}}, \quad (26)$$

где  $\delta$  – полуинтервал разброса, где в зависимости от требуемой точности оценки  $\Phi = 1,64$  для  $P_\delta = 0,9$  или  $\Phi = 1,96$  для  $P_\delta = 0,95$ .

Тогда с вероятностью  $P_\delta = 90\%$  или  $95\%$  можно утверждать, что величина  $X$  в генеральной совокупности будет иметь значения не меньше  $X_n$  (нижняя граница разброса среднего результата) и не больше  $X_e$  (верхняя граница разброса среднего результата) [1].

### 3.8. Построение кривой отказа изделия

Точечные значения кривой отказа изделия  $F_{отк}(X_i)$  (рис. 5), вычисляются по формулам:

а) для закона Вейбулла (когда  $V > 0,33$ )

$$F_{отк} = 1 - \exp \left[ - \left( \frac{L_i}{a} \right)^b \right], \quad (27)$$

где  $L_i$  – реализация ресурса (значения параметра или его отклонения) отказавшего агрегата, узла (детали), км (мкм);

б) для нормального закона

$$F_{отк} = \Phi^*(\beta), \quad (28)$$

где  $\Phi^*(\beta)$  – вероятность интегральной функции нормального закона для нормированной и центрированной величины  $\beta$  (прил. 5);

$$\beta = \frac{X_i - X_{cp}}{\sigma}, \quad (29)$$

где  $X_{cp}$  и  $\sigma$  – параметры нормального закона (см. формулы (13) и (15)).

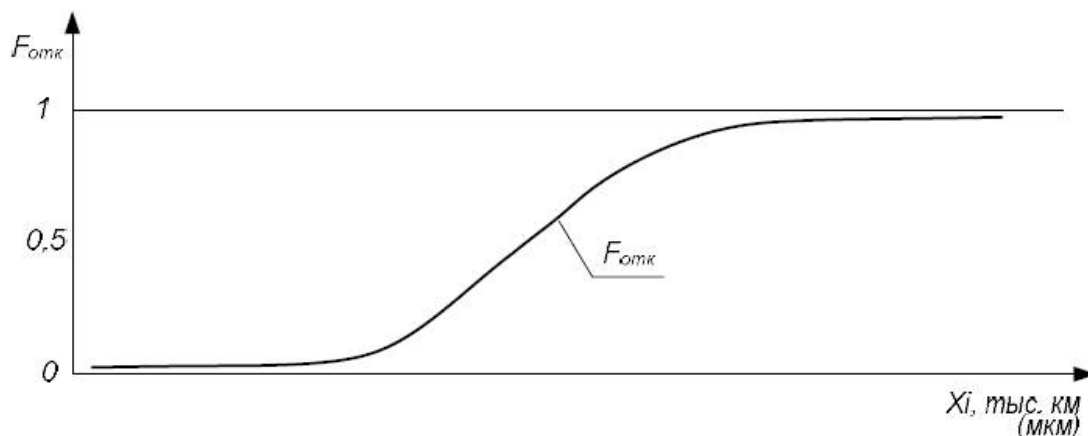


Рисунок 5 – Теоретическая кривая отказа изделия  $F_{отк}$

#### 4. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ И ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ ПРИ УПРАВЛЕНИИ НАДЕЖНОСТЬЮ, ПРОИЗВОДСТВОМ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА АВТОТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

##### 4.1. Определение коэффициентов годности, восстановления и списания деталей

Вопросы организации и планирования восстановления бывших в эксплуатации автомобильных деталей и проектирования предприятий (цехов) по их ремонту непосредственно связаны с необходимостью правильного определения ожидаемого ремонтного фонда подлежащих восстановлению или требующих замены деталей.

В цехе дефектовки авторемонтного предприятия (АРП) проверяемые детали сортируют минимум на три группы: годные, негодные и требующие восстановления (ремонта) их параметров. Вероятная доля годных, негодных и требующих восстановления деталей оценивается соответственно коэффициентами годности  $K_g$ , сменности  $K_{см}$  и восстановления  $K_v$ .

Для их определения строится кривая плотности распределения случайной величины  $\omega - f(\omega)$ , см. п. 3.5.

По оси абсцисс откладываются величина параметра детали  $\omega_d$ , допускающая возможность ее повторной эксплуатации без ремонта, а также величина параметра, при которой деталь не подлежит восстановлению по экономическим (техническим) критериям  $\omega_{см}$ .

Тогда площадь, ограниченная кривой распределения  $f(\omega)$ , лежащая вправо от допустимого размера  $\omega_d$  для отверстия (для вала влево), характеризует объем деталей, требующих восстановления, а за  $\omega_{см}$  – требующих списания.

Соответственно влево от  $\omega_d$  для вала (вправо для отверстия) – объем годных деталей к повторному использованию, без ремонта (рис. 6).

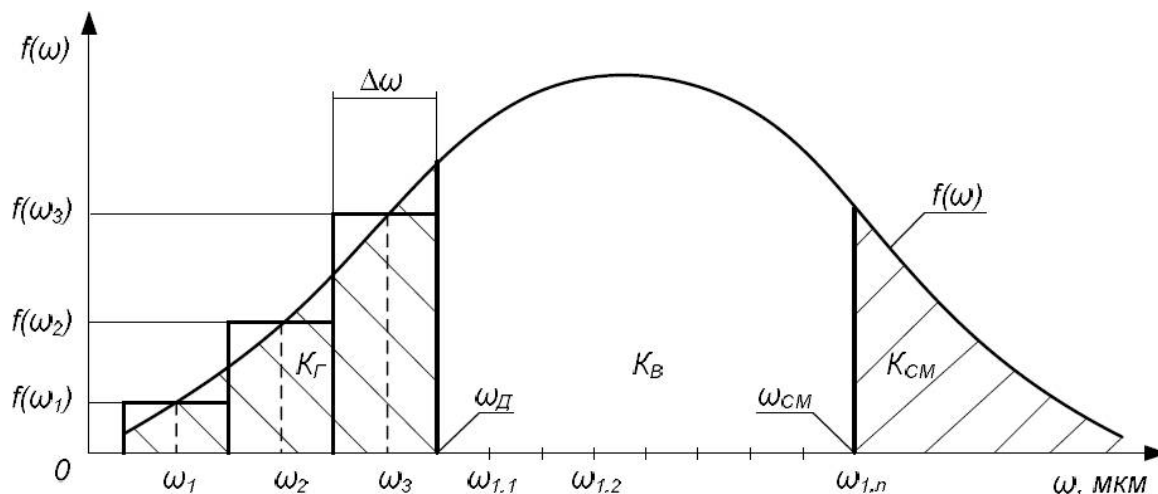


Рисунок 6 – Определение коэффициентов годности  $K_g$ , сменности  $K_{см}$  и восстановления  $K_B$

Интересующая нас площадь разбивается на несколько достаточно малых отрезков  $n$ .

Тогда коэффициенты  $K_g$ ,  $K_B$  и  $K_{см}$  определяются по формулам (сумма площадей прямоугольников):

$$K_g = f(\omega_1) \Delta \omega + f(\omega_2) \Delta \omega + f(\omega_3) \Delta \omega, \quad (30)$$

$$K_B = f(\omega_{1,1}) \Delta \omega + f(\omega_{1,2}) \Delta \omega + \dots + f(\omega_{1,n}) \Delta \omega, \quad (31)$$

$$K_{см} = 1 - K_g - K_B, \quad (32)$$

что соответствует необходимому количеству запасных деталей, где  $f(\omega_i)$ ,  $f(\omega_{1,n})$  – значения плотности распределения отклонений (износов) или размеров параметра детали для ее величин, соответствующих серединам отрезков  $\Delta\omega$ ; определяются по формулам (18) или (19) в зависимости от выбранного теоретического закона;

$\Delta\omega = \frac{\omega_d}{n}$  – величина отрезка разбиения отклонений (размеров) параметра детали ( $n \geq 3$ ).

## 4.2. Определение числа отказавших агрегатов при заданной наработке

Для сокращения простоев автомобилей, повышения коэффициента технической готовности, коэффициента выпуска, а также эффективности их использования на практике необходимо планировать потребность в оборотных узлах и агрегатах, обновляемость парка, расход запасных частей при заданной наработке или на определенный период времени (эксплуатации).

Зная закон распределения ресурсов агрегатов (систем, узлов и деталей)  $f(L)$  (рис. 7), несложно рассчитать число отказавших изделий на заданные период эксплуатации или наработку  $L_{оц}$ .

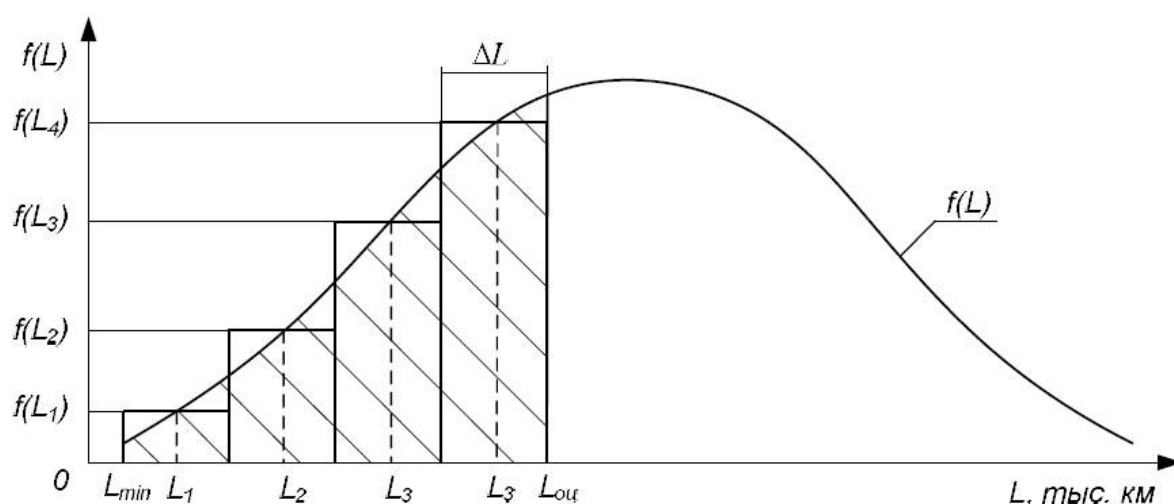


Рисунок 7 – Кривая распределения ресурсов  $f(L)$

Для этого определяется площадь, отсекаемая отрезком, соответствующим интересующей нас наработке (периоду эксплуатации парка)  $L_{оц}$ :

$$L_{оц} = L_{сз} c + L_{\min}, \quad (33)$$

где  $L_{сз}$  – пробег (наработка) за единицу измерения планируемого периода времени (например год);

$c$  – планируемый (прогнозируемый) период времени.

Интервал до  $L_{оц}$  разбивают на несколько достаточно малых отрезков  $n$ . Тогда доля отказавших изделий (необходимое количество оборотных агрегатов или запасных частей) при наработке, соответствующей  $L_{оц}$  (сумма площадей прямоугольников):

$$K_{об} = f(L_1) \Delta L + f(L_2) \Delta L + \dots + f(L_n) \Delta L, \quad (34)$$



где  $f(L_1), \dots, f(L_n)$  – значения плотности распределения ресурсов (наработок), соответствующие серединам отрезков  $\Delta L$ ; определяются согласно формулам (18) или (19) в зависимости от выбранного теоретического закона плотности вероятности случайной величины;

$$\Delta L = \frac{L_{оц} - L_{\min}}{n} - \text{величина отрезка разбиения } n \text{ наработок до } L_{оц},$$

тыс. км ( $n \geq 3$ ).

## 5. ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ПРАКТИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

Предположим, что после определения необходимого объема исследований, исключения грубых погрешностей при сборе информации о надежности агрегатов получена следующая репрезентативная выборка их наработок до капитального ремонта (КР) в тыс. км: 55; 100; 125; 159; 57; 21; 92; 111; 126; 164; 60; 70; 98; 112; 119; 170; 61; 78; 127; 151; 190; 195; 222; 162; 197; 230; 266; 90; 160; 125.

Полученная статистика наработок агрегатов до КР распределяется по эквидистантным интервалам (табл. 6), где  $\Delta L = \frac{266 - 21}{7} = 35$  тыс. км.

Таблица 6  
Экспериментальные данные о наработках агрегатов до КР

Номер интервала	Граница интервалов $[L_i - L_{i+1}]$	Середина интервалов	Частота попадания $m_{zi}$		
			в условных обозначениях	в цифрах	
1	21–56	38,5	**		2
2	56–91	73,5	*****		6
3	91–126	108,5	*****		9
4	126–161	143,5	****		4
5	161–196	178,5	*****		5
6	196–231	213,5	***		3
7	231–266	248,5	*		1
					$N = 30$

Определяются параметры выбранного теоретического закона, см. формулы (13), (15), (17):

$$L_{\varphi} = \frac{38,5 \cdot 2 + 73,5 \cdot 6 + 108,5 \cdot 9 + 143,5 \cdot 4 + 178,5 \cdot 5 + 213,5 \cdot 3 + 248,5 \cdot 1}{30} = 128,3 \text{ тыс. км} ;$$

$$\sigma = \sqrt{\left( \frac{7}{7-1} \frac{38,5^2 \cdot 2 + 73,5^2 \cdot 6 + 108,5^2 \cdot 9 + 143,5^2 \cdot 4 + 178,5 \cdot 5^2 + 213,5^2 \cdot 3 + 248,5^2 \cdot 1}{30} - 128,3^2 \right)} =$$

$$= 58,39 \text{ тыс. км};$$

$$V = \frac{58,39}{128,3} = 0,46.$$

Поскольку  $V > 0,33$ , предполагается, что экспериментальные данные аппроксимируются теоретическим законом Вейбулла.

Для найденного  $V = 0,46$  обратной интерполяцией находится параметр формы закона Вейбулла  $b = 2,3$  (прил. 6).

Согласно формуле (20) параметр масштаба

$$a = \frac{X_{cp}}{\Gamma(\alpha)} = \frac{128,3}{0,886} = 144,81 \text{ тыс. км.}$$

где  $\alpha = 1 + \frac{1}{2,3} = 1,43$ , а  $\Gamma(\alpha) = \Gamma(1,43) = 0,886$  определяется по прил. 3.

Тогда функция распределения плотности вероятности случайной величины  $L$  будет иметь следующий вид:

$$f(X_i) = \frac{2,3}{144,81} \left( \frac{L_i}{144,81} \right)^{1,3} e^{-\left( \frac{L_i}{144,81} \right)^{2,3}}.$$

Проверяется правдоподобность принятой гипотезы согласно формулам (23), (22) и (21):  $m_{mi} = f(\bar{L}_i) 35 \cdot 30$ .

Результаты расчетов сведены в табл. 7.

$$\chi^2 = \frac{(2-3)^2}{3} + \frac{(6-6)^2}{6} + \frac{(9-7)^2}{7} + \frac{(4-6)^2}{6} +$$

$$+ \frac{(5-4)^2}{4} + \frac{(3-2)^2}{2} + \frac{(1-1)^2}{1} = 2,32.$$

Таблица 7

Результаты обработки статистических данных

Граница интервалов $[L_i-L_{i+1}]$	Середина интервалов $L_i$ , тыс. км	Опытная частота попадания в интервалы $m_{эi}$	Плотность вероятностей $f(\bar{L}_i)$	Теоретическая частота попадания в интервалы $m_{mi}$	Вероятность отказа $F_{отк}(\bar{L}_i)$ , см. формулу (27)
21–56	38,5	2	$2,72 \cdot 10^{-3}$	$2,85 \approx 3$	0,046
56–91	73,5	6	$5,34 \cdot 10^{-3}$	$5,61 \approx 6$	0,169
91–126	108,5	9	$6,53 \cdot 10^{-3}$	$6,86 \approx 7$	0,402
126–161	143,5	4	$5,91 \cdot 10^{-3}$	$6,2 \approx 6$	0,624
161–196	178,5	5	$4,13 \cdot 10^{-3}$	$4,34 \approx 4$	0,602
196–231	213,5	3	$2,29 \cdot 10^{-3}$	$2,51 \approx 3$	0,913
231–266	248,5	1	$0,962 \cdot 10^{-4}$	$0,1 \approx 1$	0,997
		$N_э = 30$		$N_m = 30$	

Согласно п. 3.6 и прил. 4

$$P(2,32; 4) \approx 0,6 > 0,1,$$

где  $r = 7 - 3 = 4$ .

Поскольку неравенство (21) выполняется, то по критерию согласия  $\chi^2$ -Пирсона при уровне значимости  $\alpha = 0,1$  гипотеза о следовании экспериментальных данных принятому теоретическому закону Вейбулла с параметрами  $b = 2,3$ ;  $a = 144,81$  тыс. км не опровергается.

Получили  $N_э \approx N_m$ .

Вычисляется величина доверительного интервала разброса наработок агрегатов до КР при  $P_\delta = 0,9$  согласно выражению (25):

$$I_\delta = \left\{ 128,3 - \frac{58,39 \cdot 1,64}{\sqrt{7}} < L < 128,3 + \frac{58,39 \cdot 1,64}{\sqrt{7}} \right\};$$

$$I_\delta = [92,1; 164,5] \text{ тыс. км.}$$

Следовательно, мы можем утверждать, что с вероятностью 90 % наработки агрегатов до КР  $L$  в генеральной совокупности будут не меньше 92,1 и не больше 164,5 тыс. км.

Далее аналогично рис. 4 и 5 строятся гистограмма распределения случайной величины  $L$ , теоретическая кривая  $f(L)$  и кривая отказа изделия.

Для заданного значения  $L_{оц}$  (или периода прогнозирования) в соответствии с п. 4.2 определяется необходимое количество оборотных агрегатов  $K_{об}$  и вероятность их исправного состояния  $F_{исп} = 1 - F_{отк}$ .

Так, для данных примера (см. табл. 7) и  $L_{оц} = 80$  тыс. км имеем (см. формулу (33))

$$K_{об} = (1,1 \cdot 10^{-3} + 3,5 \cdot 10^{-3} + 5,2 \cdot 10^{-3}) 19,67 = 0,19,$$

где значения  $f(L_i)$  определяются графически из рис. 8 или рассчитываются по формуле (18) или (19) для значений  $L_i$ , соответствующих серединам  $\Delta L$ .

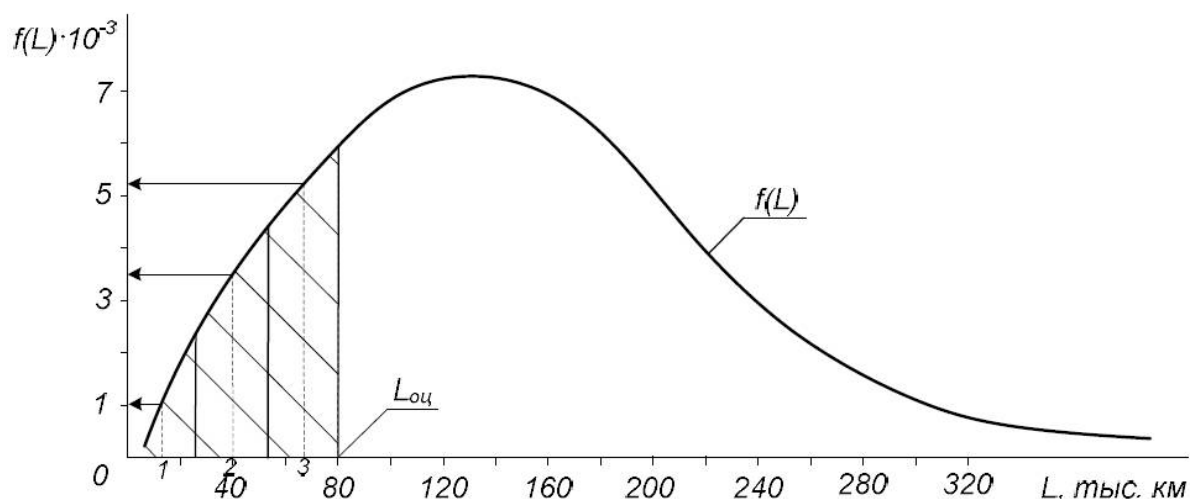


Рисунок 8 – Определение доли отказавших изделий при заданной наработке  $L_{оц}$

Получим, что при наработке  $L_{оц} = 80$  тыс. км откажет (потребуется замены) около 19 % агрегатов.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГОСТ 27.002-2015. Межгосударственный стандарт. Надежность в технике. Термины и определения. - Введ. 2017-03-01. - М.: Стандартинформ, 2016. – 28 с.
2. ГОСТ Р 51814.2-2001. Системы качества в автомобилестроении. Метод анализа видов и последствий потенциальных дефектов. – Введ. 2002-01-01. - М.: Изд-во стандартов, 2001. – 22 с.
3. Диагностирование на граф-моделях: на примерах авиационной и автомобильной техники / Я.Я. Осис [и др.]. – М.: Транспорт, 1991. – 244 с.
4. Завадский, Ю.В. Методы статистической обработки экспериментальных данных: курс лекций / Ю.В. Завадский. - М.: Изд-во Моск. авто-моб.-дор. ин-та, 1973. - 99 с.
5. Завадский, Ю.В. Статистическая обработка эксперимента (Применительно к задачам автомобильного транспорта): учеб. пособие / Ю.В. Завадский. - М.: Высш. шк., 1976. - 270 с.

6. Керимов, Ф.Ю. Теоретические основы сбора и обработки информации надежности машин: учеб. пособие / Ф.Ю. Керимов. – М. : Изд-во Моск. автомоб.-дор. ин-та, 1979. – 135 с.
7. Комаров, М.С. Основы научных исследований / М.С. Комаров. – Львов: Вища школа, Изд-во при Львов. ун-те, 1982. – 128 с.
8. Кузнецов, Е.С. Управление технической эксплуатацией автомобилей / Е.С. Кузнецов. - М.: Транспорт, 1990. - 272 с.
9. Кутай А.К. Справочник по производственному контролю в машиностроении: справочник / А.К. Кутай. - Л.: Машиностроение (Ленингр. отд-ние), 1974. - 975 с.
10. Лукинский, В.С. Прогнозирование надежности автомобилей / В.С. Лукинский, Е.И. Зайцев. - Л.: Политехника, 1991. - 224 с.
11. Малмалаев, В.Ф. Разработка моделей причинно-следственных связей и их применение при определении причин отказов аварийных объектов авиационной техники: метод. пособие / В.Ф. Малмалаев, А.М. Сосунов. - Утверждено командиром войсковой части 75360. – Вып. 3135. – 1973. - 72 с.
12. Масино, М.А. Организация восстановления автомобильных деталей / М.А. Масино. – М.: Транспорт, 1981. – 176 с.
13. Методические указания по прогнозированию технического состояния машин / В. М. Михлин [и др.]. - М.: ОНТИ ГОСНИТИ, 1972. - 61 с.
14. Оре, О. Графы и их применение / О. Оре. - М.: Мир, 1965. - 175 с.
15. Оре, О. Теория графов / О. Оре. - М.: Наука, 1980. - 336 с
16. Основы научных исследований: учебник / В.И. Крутов [и др.]; под ред. В.И. Крутова и В.В. Попова. – М.: Высш. шк., 1989. – 400 с.
17. Павлишин, С.Г. Метод незавершенных испытаний применительно к задачам автомобильного транспорта: методические указания к выполнению научных и учебных исследовательских работ. - Хабаровск: Изд-во Хабар. политехн. ин-та, 1990. – 27 с.
18. Панюков, Д.И. Фундаментальные основы ФМЕА для автомобилестроения: монография / Д.И. Панюков, В.Н. Козловский. – Самара: Издательство СамНЦ РАН, 2014. – 150 с.
19. ПМ 37.104.04.740-89. Методика практических расчетов ресурсов агрегатов, узлов и деталей автомобилей КамАЗ / В.Г. Дажин [и др.]. - Набережные Челны: ОАО «КАМАЗ», 1989. - 73 с.
20. РД 50-423-83. Методические указания. Надежность в технике. Методика прогнозирования остаточного ресурса машин и деталей, подверженных изнашиванию. – Введ. 1985-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1984. – 38 с.
21. РД 50-690-89. Методические указания. Надежность в технике. Методы оценки показателей надежности по экспериментальным данным. – Введ. 1991-01-01. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 136 с.

22. Смирнов, Н.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений / Н.В. Смирнов, И.В. Дунин-Барковский. - М.: Наука, 1969. -512 с.

23. Солонин, И.С. Математическая статистика в технологии машиностроения / И.С. Солонин. - М.: Машиностроение, 1972. -216 с.

24. Статистический метод исследования надежности в задачах автомобильного транспорта: методические указания к выполнению практической работы / С.Г. Павлишин [и др.]. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2012. – 28 с.

25. Техническая эксплуатация автомобилей: учебник для вузов. - Е.С. Кузнецов [и др.]. - М.: Наука, 2001. - 535 с.

26. Шор, Я.Б. Статистические методы анализа и контроля качества и надёжности. - М.: Советское радио, 1962. – 553 с.

27. Шор, Я.Б. Таблицы для анализа и контроля надежности / Я.Б. Шор, Ф.И. Кузьмин. – М.: Советское радио, 1968. – 288 с.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение 1

#### Статистические данные по эксплуатационным отказам автомобилей (марка) в автоколонне (название) или АТП (название)

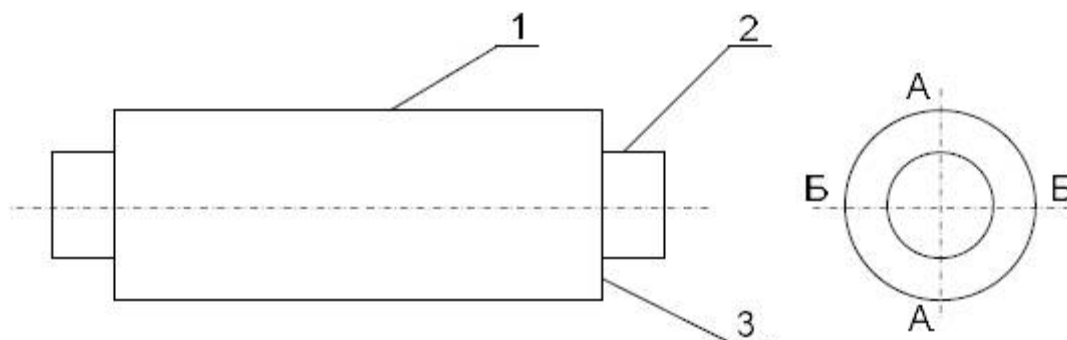
Государственный номер автомобиля	Отказавший агрегат (наименование, модель)	Наработка автомобиля (агрегата) на момент отказа $L_i$ , тыс. км	Причина отказа агрегата	Трудоемкость устранения отказа, чел.-часы	Стоимость устранения отказа, руб.

### Приложение 2

#### Статистические данные по износу детали (наименование)

Номер детали	Номер контролируемой поверхности по эскизу детали с нумерацией контролируемых поверхностей (параметров)												
	1				2				3				
	$D_n = \dots; D_o = \dots$				$D_n = \dots; D_o = \dots$				$D_n = \dots; D_o = \dots$				
	Плоскость А-А		Плоскость Б-Б		Плоскость А-А		Плоскость Б-Б		Плоскость А-А		Плоскость Б-Б		
	Сечение I-I	Сечение II-II	Сечение I-I	Сечение II-II	Сечение I-I	Сечение II-II	Сечение I-I	Сечение II-II	Сечение I-I	Сечение II-II	Сечение I-I	Сечение II-II	

Примечание.  $D_n$  и  $D_o$  – соответственно номинальное и допустимое значения параметра детали.



Приложение 3

**Значение гамма-функции Эйлера в зависимости от параметра  $\alpha$**   
 (применяется при вычислении параметров закона Вейбулла)

$\alpha$	$\Gamma(\alpha)$	$\alpha$	$\Gamma(\alpha)$	$\alpha$	$\Gamma(\alpha)$	$\alpha$	$\Gamma(\alpha)$
1,00	1,000	1,26	0,904	1,52	0,887	1,78	0,926
1,01	0,994	1,27	0,902	1,53	0,887	1,79	0,928
1,02	0,968	1,28	0,900	1,54	0,888	1,80	0,931
1,03	0,983	1,29	0,899	1,55	0,888	1,81	0,934
1,04	0,978	1,30	0,897	1,56	0,889	1,82	0,936
1,05	0,973	1,31	0,896	1,57	0,890	1,83	0,939
1,06	0,968	1,32	0,894	1,58	0,891	1,84	0,942
1,07	0,964	1,33	0,893	1,59	0,892	1,85	0,945
1,08	0,959	1,34	0,892	1,60	0,893	1,86	0,948
1,09	0,955	1,35	0,891	1,61	0,894	1,87	0,951
1,10	0,951	1,36	0,890	1,62	0,895	1,88	0,955
1,11	0,947	1,37	0,889	1,63	0,897	1,89	0,958
1,12	0,943	1,38	0,888	1,64	0,898	1,90	0,961
1,13	0,939	1,39	0,887	1,65	0,900	1,91	0,965
1,14	0,936	1,40	0,887	1,66	0,901	1,92	0,968
1,15	0,935	1,41	0,886	1,67	0,903	1,93	0,972
1,16	0,929	1,42	0,886	1,68	0,905	1,94	0,976
1,17	0,926	1,43	0,886	1,69	0,906	1,95	0,979
1,18	0,923	1,44	0,885	1,70	0,906	1,96	0,983
1,19	0,920	1,45	0,885	1,71	0,910	1,97	0,987
1,20	0,915	1,46	0,885	1,72	0,912	1,98	0,991
1,21	0,915	1,47	0,885	1,73	0,914	1,99	0,995
1,22	0,913	1,48	0,885	1,74	0,916	2,00	1,00
1,23	0,910	1,49	0,885	1,75	0,919		
1,24	0,908	1,50	0,886	1,76	0,921		
1,25	0,906	1,51	0,886	1,77	0,923		

$$\text{Для } \alpha < 1 - \Gamma(\alpha) = \frac{\Gamma(\alpha+1)}{\alpha} ; \alpha > 2 - \Gamma(\alpha) = (\alpha - 1) \Gamma(\alpha - 1).$$



**Значения вероятностей закона Пирсона в зависимости от числа степеней свободы  $r$  значения  $\chi^2$**   
(применяется для определения опытного значения вероятности Пирсона)

$\chi^2$	Число степеней свободы $r$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0,317	0,606	0,801	0,909	0,962	0,985	0,994	0,998
2	0,157	0,367	0,572	0,735	0,849	0,919	0,959	0,961
3	0,083	0,223	0,391	0,557	0,700	0,808	0,885	0,934
4	0,045	0,135	0,261	0,406	0,549	0,676	0,779	0,857
5	0,025	0,082	0,171	0,287	0,415	0,543	0,660	0,757
6	0,011	0,049	0,111	0,199	0,306	0,423	0,539	0,647
7	0,008	0,030	0,071	0,135	0,220	0,320	0,428	0,536
8	0,004	0,018	0,046	0,091	0,156	0,238	0,332	0,433
9	0,002	0,011	0,029	0,061	0,109	0,173	0,252	0,343
10	0,001	0,006	0,018	0,040	0,075	0,124	0,188	0,265
11	0,000	0,004	0,011	0,026	0,051	0,088	0,138	0,201
12		0,002	0,007	0,017	0,034	0,062	0,100	0,151
13		0,001	0,004	0,011	0,023	0,043	0,072	0,111

*Примечание.*  $r$  - число степеней свободы

$$r = K - S,$$

где  $K$  – число разрядов;

$S$  – число используемых связей.

**Вероятности интегральной функции нормального закона для нормированной и центрированной случайной величины  $\beta$**

$$\Phi^*(\beta) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\beta \alpha e^{-\frac{\beta}{2}} \beta, \text{ где } \beta = \frac{\bar{L}_i - L_{cp}}{\sigma}$$

$\beta$	$F_{отк} = \Phi^*$	$\beta$	$F_{отк} = \Phi^*$	$\beta$	$F_{отк} = \Phi^*$
1	2	3	4	5	6
0,00	0,500	-0,50	0,308	-1,00	0,158
-0,10	0,460	-0,60	0,274	-1,10	0,135
-0,20	0,420	-0,70	0,242	-1,20	0,116
-0,30	0,362	-0,80	0,211	-1,30	0,096
-0,40	0,344	-0,90	0,184	-1,40	0,060

1	2	3	4	5	6
-1,50	0,066	-3,70	0,000	1,90	0,971
-1,60	0,054	-3,80	0,000	2,00	0,977
-1,70	0,044	-3,90	0,000	2,10	0,982
-1,80	0,035	0,00	0,500	2,20	0,986
-1,90	0,028	0,10	0,539	2,30	0,969
-2,00	0,022	0,20	0,579	2,40	0,991
-2,10	0,017	0,30	0,617	2,50	0,993
-2,20	0,013	0,40	0,655	2,60	0,995
-2,30	0,010	0,50	0,691	2,70	0,996
-2,40	0,008	0,60	0,725	2,80	0,997
-2,50	0,006	0,70	0,758	2,90	0,998
-2,60	0,004	0,60	0,788	3,00	0,998
-2,70	0,003	0,90	0,815	3,10	0,999
-2,80	0,002	1,00	0,841	3,20	0,999
-2,90	0,001	1,10	0,864	3,30	0,999
-3,00	0,001	1,20	0,884	3,40	0,999
-3,10	0,001	1,30	0,903	3,50	0,999
-3,20	0,000	1,40	0,919	3,60	0,999
-3,30	0,000	1,50	0,933	3,70	0,999
-3,40	0,000	1,60	0,945	3,80	0,999
-3,50	0,000	1,70	0,955	3,90	1,000
-3,60	0,000	1,80	0,964		

Приложение 6

**Зависимость между коэффициентом вариации и параметром формы закона Вейбулла ( $b = f(V)$ )**

$b$	$V$	$b$	$V$	$b$	$V$	$b$	$V$
3,5	0,315	2,2	0,480	1,7	0,605	1,2	0,837
3,0	0,365	2,1	0,498	1,6	0,640	1,1	0,910
2,5	0,428	2,0	0,523	1,5	0,678	1,0	1,00
2,4	0,444	1,9	0,547	1,4	0,723	0,9	1,11
2,3	0,461	1,8	0,575	1,3	0,775	0,8	1,26