

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО ОБРАЗОВАНИЮ  
КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

А.В. ШАРЫПОВ, Г.В. ОСИПОВ

## **ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

*Допущено*

*Учебно — методическим объединением по профессионально–  
педагогическому образованию в качестве учебного пособия для  
студентов высших учебных заведений, обучающихся по специаль-  
ности 050501.15 – Профессиональное обучение  
(Автомобили и автомобильное хозяйство)*

Курган 2006

УДК 629.113 – 192 (075.8)

Ш 26

Рецензенты:

Федеральное государственное образовательное учреждение начального профессионального образования (ФГОУНПО) Курганский областной учебно-курсовой комбинат автомобильного транспорта /директор И.А.Иванов/;

зав. кафедрой “Тракторы и автомобили” КГСХА, канд. техн. наук Н.В.Камчугов.

Печатается по решению методического совета Курганского государственного университета.

Ш26 Шарыпов А.В., Осипов Г.В. Основы теории надежности транспортных систем: Учебное пособие. — Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2006.— 128 с.

В учебном пособии рассмотрены теоретические понятия надежности технических объектов, водителей транспортных средств, дороги и внешней среды, т.е. отдельных составляющих автомобильной транспортной системы.

Предназначено для студентов специальностей 050501 “Профессиональное обучение (автомобили и автомобильное хозяйство)”, 190603 “Сервис транспортных и технологических машин и оборудования (автомобильный транспорт), 190601 “Автомобили и автомобильное хозяйство” и 190702 “Организация и безопасность движения (автомобильный транспорт)”. Пособие может быть также полезно специалистам в области автомобильного транспорта.

Табл. – 11, рис. – 28, библиограф.– 25 назв.

УДК 629.113 – 192 (075.8)

ISBN 5–86328-818-3

© Курганский государственный университет, 2006

## ВВЕДЕНИЕ

Транспортно–дорожный комплекс (ТДК) представляет собой одну из основных народнохозяйственных структур экономики Российской Федерации, обеспечивающих удовлетворение потребностей страны в автомобильных, железнодорожных, речных, морских и авиационных перевозках. При этом ТДК оказывает существенное влияние на состояние окружающей среды — атмосферный воздух, водоемы, почву, растительность и животный мир.

Аварийность в городах и на дорогах России является одной из серьезнейших социально-экономических проблем. Ежегодно в России погибают около 30 тысяч человек, получают ранения свыше 170 тысяч человек, из которых более 10 тысяч становятся инвалидами.

Безопасность движения на автомобильном транспорте обеспечивается по схеме “автомобиль — водитель — дорога — среда” (АВДС), поэтому ослабление или неудовлетворительное состояние одного из звеньев этой цепи всегда будет являться предпосылкой к совершению дорожно-транспортного происшествия.

В составе автопарка страны преобладают автотранспортные средства, имеющие низкий исходный технический уровень и неудовлетворительное техническое состояние в эксплуатации. Это оказывает заметное влияние на уровень дорожно–транспортной аварийности в стране, который на порядок превышает соответствующий показатель экономически развитых государств.

По–прежнему решающее воздействие на уровень аварийности в стране продолжают оказывать водители автототранспортных средств.

На низком уровне находится эксплуатационное состояние федеральных автомобильных дорог. По данным официальной статистики, из-за неудовлетворительного состояния улиц и дорог в среднем связано каждое девятое дорожно–транспортное происшествие.

Поэтому понятие надежности — сохранение качества функционирования объекта во времени — может быть отнесено к каждому из элементов системы АВДС, естественно, с учетом присущих им особенностей.

В связи с этим, в данном учебном пособии сделана попытка рассмотреть особенности функционирования всех элементов системы АВДС, их влияние на показатели качества функционирования, в том числе на надежность и ее показатели.

Авторы выражают благодарность коллегам по работе, оказавшим помощь в формировании данного пособия.

# 1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ

## 1.1 Понятие надежности

Одной из важнейших проблем, стоящих перед автомобильным транспортом, является повышение качественных показателей автомобилей, их использования, повышения производительности, снижения трудоемкости и себестоимости перевозок.

**Качество** — совокупность свойств, определяющих степень пригодности объекта (автомобиля, агрегата, материала) к выполнению заданных функций при использовании по назначению.

Каждое свойство характеризуется одним или несколькими показателями, которые могут принимать самые различные количественные значения.

Показатели любого технического объекта, в том числе и автомобиля, можно разделить на следующие группы.

1. Эксплуатационно–технические показатели (показатели функционирования, показатели назначения), характеризующие эффект от использования автомобиля по назначению (максимальная скорость, мощность, тормозной путь и т.д.).

2. Показатели технологичности, характеризующие эффективность конструктивно – технологических решений с точки зрения обеспечения высокой производительности труда при изготовлении, обслуживании и производстве ремонтов.

3. Эргономические показатели, характеризующие систему “человек – машина – среда” и учитывающие приспособленность конструкции к эксплуатации человеком.

4. Эстетические показатели, отражающие выразительность, оригинальность, гармоничность, целостность, соответствие конструкции среде и стилю.

5. Показатели стандартизации и унификации, отражающие степень использования в конструкции стандартных и унифицированных деталей, агрегатов, узлов и систем.

6. Патентно-правовые показатели, характеризующие степень патентной защиты конструкции и применяемых в ней технических решений в нашей стране и за рубежом, а также их патентную чистоту.

7. Экономические показатели, характеризующие затраты на разработку, изготовление и эксплуатацию автомобилей.

8. Показатели надежности, характеризующие свойства безотказности, долговечности, ремонтпригодности и сохраняемости автомобиля.

Итак, видно, что надежность — неотъемлемое свойство качества технического объекта.

**Надежность** — свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Иначе говоря, надежность — это качество, развернутое во времени, на всех стадиях жизненного цикла автомобиля.

Жизненный цикл семейства автомобилей определенной марки включает в себя следующие стадии:

- исследование и разработка автомобиля (от начала проведения исследовательской работы по конкретной марке автомобиля до акта о сдаче опытного образца);

- изготовление (от момента получения автозаводом технической документации по данной модели до отгрузки последнего автомобиля данной модели с завода);

- обращение (от момента отгрузки потребителю первого экземпляра машины до момента поставки потребителю последнего экземпляра);

- эксплуатация (от момента принятием потребителем первого экземпляра машины до момента снятия с эксплуатации последнего экземпляра);

- утилизация (от момента списания первого экземпляра машины с эксплуатации до завершения работ по утилизации последнего экземпляра).

Качество автомобиля (и его надежность) закладывается на стадиях исследования и разработки, обеспечивается в процессе изготовления, а реализуется (поддерживается и восстанавливается) на стадии эксплуатации.

Проблема обеспечения и повышения надежности является технико-экономической.

Ее техническое содержание состоит в разработке конкретных требований и осуществлении конструктивно-технических мероприятий в сфере эксплуатации, обеспечивающих реализацию надежности при минимальных затратах.

Экономическое содержание проблемы надежности состоит в определении обоснованной цены на автомобили повышенной надежности, которая компенсирует дополнительные затраты, требуемые в сфере производства, и даст необходимую экономию в конкретных условиях эксплуатации.

Теория надежности изучает общие методы и приемы, которых следует придерживаться при проектировании, изготовлении, приемке, транспортировке и эксплуатации объекта для получения максимальной эффективности.

Для этого теория надежности:

- изучает свойства конструкции изделий;

- устанавливает закономерности и причины возникновения отказов и неисправностей и методы их прогнозирования;

- изучает влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в изделии;

- ищет способы повышения надежности при проектировании и изготовлении;

- определяет оптимальную систему профилактики и ремонта изделий;

- разрабатывает методики сбора, учета и анализа статистических сведений, характеризующих надежность;

- рассматривает количественные показатели надежности и исследует связь между ними и экономической эффективностью;

– разрабатывает методы проведения испытаний на надежность.

Применительно к автомобильному транспорту теория надежности выступает как теоретическая основа технической эксплуатации автомобилей.

Техническая эксплуатация автомобилей (ТЭА) изучает пути и методы наиболее эффективного управления техническим состоянием автомобильного парка с целью обеспечения регулярности и безопасности перевозок при наиболее полной реализации технических возможностей конструкции и обеспечения заданных уровней эксплуатационной надежности автомобиля, оптимизации материальных и трудовых затрат, сведение к минимуму отрицательного влияния технического состояния подвижного состава на персонал и окружающую среду.

Как область практической деятельности ТЭА является важнейшей подсистемой автомобильного транспорта.

В процессе эксплуатации автомобиль взаимодействует с окружающей средой, а его элементы взаимодействуют между собой. Это взаимодействие вызывает нагружение деталей, их взаимное перемещение, трение, нагрев, химические и другие преобразования и, как следствие, изменение в процессе работы физико–химических свойств (состояние поверхностей, размеры деталей и их взаимное расположение, зазоры, электрические и другие свойства).

Это приводит к изменению технического состояния автомобиля и его элементов.

Техническое состояние автомобиля или его элементов — это совокупность изменяющихся свойств, характеризующихся текущими значениями, т.е. количественными показателями конструктивных параметров.

Конструктивные параметры — параметры, задаваемые конструкторами при разработке объекта.

Например, для двигателя — размеры деталей ЦПГ и КШМ, для тормозов — размеры тормозных накладок, барабанов и зазоры между ними.

## **1.2 Основные определения надежности**

Основные понятия и термины из области надежности определены в ГОСТ 27.002 – 89.

Определения основных свойств надежности даны применительно к техническим объектам.

Под объектом понимается предмет определенного целевого назначения, рассматриваемый в периоды проектирования, производства, эксплуатации, исследований и испытаний на надежность. Объектами могут быть изделия, системы и их элементы — сооружения, установки, устройства, машины, аппараты, приборы и их части, агрегаты и отдельные детали.

В процессе эксплуатации все объекты (автомобиль, агрегат, деталь) с точки зрения надежности могут находиться в исправном, неисправном, работоспособном, неработоспособном и предельном состояниях.

**Исправное состояние** (Good state) — состояние объекта, при котором он соответствует всем требованиям нормативно–технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Неисправное состояние** (Fault, faulty state) — состояние объекта, при котором он не соответствует хотя бы одному из требований нормативно–технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Работоспособное состояние** (Up state) — состояние, при котором значения всех параметров, характеризующих способность выполнять заданные функции, соответствуют требованиям нормативно–технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Неработоспособное состояние** (Down state) — состояние объекта, при котором значение хотя бы одного параметра, характеризующего способность выполнять заданные функции, не соответствует требованиям нормативно–технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

Между неисправностью и неработоспособностью имеется различие. Неисправность может не оказывать влияния на работоспособность. Например, дефекты в окраске автомобиля не препятствуют выполнению им заданных функций, хотя и являются нарушением требований нормативно–технической документации. Между тем потеря работоспособности изделия всегда связана с его неисправностью. Неисправность по мере ее нарастания может привести к нарушению работоспособности. Например, слабая затяжка крепежных деталей часто приводит к их отворачиванию и поломке других деталей изделия.

В процессе работы автомобиля конструктивные параметры изменяются от начальных или номинальных значений  $y_n$  до предельных  $y_n$ , при которых автомобиль или его отдельные элементы переходят в предельное состояние.

**Предельное состояние** (Limiting state) — состояние объекта, при котором его дальнейшая эксплуатация недопустима или нецелесообразна, либо восстановление его работоспособного состояния невозможно или нецелесообразно.

Невозможность дальнейшей эксплуатации объекта может определяться или неустранимым уходом заданных параметров за установленные пределы, или неустранимым снижением эффективности эксплуатации ниже допустимой, или неустранимым нарушением требований безопасности, или необходимостью проведения среднего или капитального ремонта.

Наконец, нередко предельным состоянием является моральный износ.

Каждое отдельное несоответствие продукции установленным требованиям называют дефектом.

Исходными понятиями надежности являются понятия повреждения и отказа.

**Повреждение** (Damage) — это событие, заключающееся в нарушении исправного состояния объекта при сохранении работоспособного состояния. Например, если будет несколько помят масляный картер, то двигатель будет работать без отклонений. Однако повреждение часто со временем приводит к

отказу. Так, трещина в какой-либо детали может привести к ее поломке и, следовательно, к отказу двигателя.

**Отказ (Failure)** — событие, заключающееся в нарушении работоспособного состояния объекта. Понятие отказа является одним из главных в теории надежности.

Все объекты делятся на ремонтируемые, неремонтируемые, восстанавливаемые и невосстанавливаемые.

**Ремонтируемый объект (Repairable item)** — объект, ремонт которого возможен и предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

К ремонтируемым объектам относятся практически все машины, в том числе двигатели, КПП и т.д.

**Неремонтируемый объект (Nonreplicable item)** — объект, ремонт которого невозможен или не предусмотрен нормативно-технической, ремонтной и (или) конструкторской (проектной) документацией.

Под это понятие попадает большое количество деталей, например, деталей двигателя: поршневые кольца, клиновые ремни, крепежные изделия.

Изделия могут рассматриваться как ремонтируемые и неремонтируемые в зависимости от принятой системы эксплуатации и ремонта. Например, подшипники качения ремонтируются на специализированных заводах, но в процессе эксплуатации их просто заменяют. Если в автотранспортном предприятии двигатели автомобилей при отказе заменяют на новые или отремонтированные на стороне, то они могут быть отнесены к категории неремонтируемых изделий. Клиновой ремень, например, практически невозможно отремонтировать по техническим причинам, а вкладыши подшипников обычно невыгодно ремонтировать из-за значительных затрат, превышающих стоимость нового вкладыша. В связи с этим вводятся понятия о восстанавливаемых и невосстанавливаемых объектах.

**Восстанавливаемый объект (Restorable item)** — объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации.

**Невосстанавливаемый объект (Nonrestorable item)** — объект, для которого в рассматриваемой ситуации проведение восстановления работоспособного состояния не предусмотрено в нормативно-технической и (или) конструкторской (проектной) документации. Неремонтируемый объект является одновременно и невосстанавливаемым.

Для неремонтируемых изделий предельным состоянием будет их первое нарушение работоспособности. Для ремонтируемых объектов предельное состояние обычно является многократным, так как оно может быть в принципе многократно устранено заменой или ремонтом неработоспособных деталей и узлов.

В ряде случаев в технической документации может быть оговорено, что объект должен быть снят с эксплуатации при достижении назначенной наработки по соображениям безопасности. Так обычно поступают с авиаци-



онными двигателями. После назначенных часов работы их меняют на другие — новые или отремонтированные, хотя внешне никаких неисправностей на заменяемых объектах может и не быть.

Термины “восстанавливаемый” и “невосстанавливаемый” объект не заменяют собой понятия “ремонтируемый” и “неремонтируемый” объект, так как первые характеризуют условия восстановления объекта в конкретных условиях эксплуатации, а вторые — свойства объектов, т. е. возможность устранения повреждений и отказов путем ремонтов. Деление объектов на восстанавливаемые и невосстанавливаемые носит условный характер и может меняться в зависимости от конкретных условий. Например, такие объекты, как прецизионные детали дизельной аппаратуры и гидросистем в условиях эксплуатации, следует считать невосстанавливаемыми, их необходимо заменять после отказа. Эти же объекты для ремонтно-механических заводов могут быть восстанавливаемыми, если имеется необходимое оборудование для восстановления этих деталей.

### **Контрольные вопросы**

1. Какими показателями характеризуется качество изделия?
2. Какие вопросы рассматривает теория надежности?
3. Чем отличается неработоспособное состояние объекта от неисправного?
4. Повреждение и отказ. В чем заключается отличие данных понятий?

## **2 ПРИЧИНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

В результате воздействия внешних сил и сил циклических и динамических нагрузок в процессе работы транспортных средств происходит изменение их технического состояния. Основными постоянно действующими факторами, ухудшающими техническое состояние транспортных средств, являются: изнашивание, пластические разрушения и деформации, усталостные разрушения, коррозия и старение материалов. Важно знать закономерности протекания этих процессов в транспортных средствах, так как эта информация важна как для совершенствования конструкции автомобиля, так и для разработки эффективных мероприятий по предупреждению неисправностей в эксплуатации.

### **2.1 Изнашивание**

**Изнашивание** (Wear process) — это процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации

при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Результатом изнашивания является износ.

**Износ (Wear)** — результат изнашивания, определяемый в установленных единицах (например, в мкм).

### **2.1.1 Теория изнашивания, объясняющая механизм механического истирания**

Для объяснения природы трения и изнашивания существуют три теории, дополняющие и уточняющие друг друга. Их исходные положения сводятся в основном к механическому, молекулярному и молекулярно-механическому взаимодействиям между трущимися поверхностями. Отсюда и эти теории называют механической, молекулярной и молекулярно-механической.

**Механическая теория.** Изнашивание представляет собой процесс деформации и разрушения поверхностных слоев, происходящий в результате механического взаимодействия микронеровностей при скольжении тел.

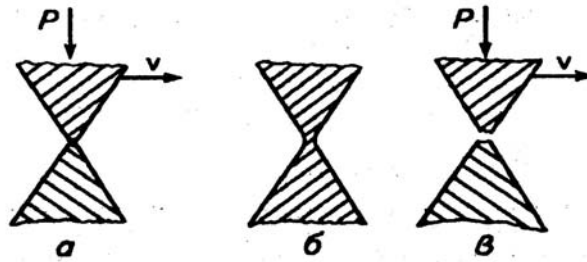
Сближение шероховатых поверхностей приводит как к контакту микронеровностей, так и к взаимному проникновению микровыступов одной из поверхностей во впадины другой. В связи с различной высотой микронеровностей контактирующие микровыступы нагружаются по-разному, поэтому одни из них испытывают упругие деформации, другие — пластические. При относительном перемещении трущихся поверхностей имеют место все известные виды деформаций: смятие, сдвиг, изгиб.

Важно отметить, что трущиеся детали соприкасаются не всей видимой поверхностью, а лишь микровыступами, пятнами касания. По подсчетам английского ученого Боудена, фактическая площадь касания составляет 0,01–0,001 видимой поверхности (в зависимости от класса шероховатости). В силу этого удельные нагрузки на отдельные микровыступы достигают больших значений. Так, если в подшипниках коленчатых валов автотракторных двигателей среднее расчетное давление составляет 4 МПа, то фактическое давление на микровыступах может достигать 400–4000 МПа. При таком давлении в контактных точках возникают температурные вспышки локального характера ( $\approx 1000^\circ\text{C}$ ) и происходит сваривание микровыступов с мгновенным разрывом мостиков сварки.

Процесс образования мостиков сварки и последующего их разрушения схематично показан на рисунке 2.1.

Показанный характер износов подтверждается на практике в виде задиров и наплывов на трущихся поверхностях. С течением времени фактическая площадь касания увеличивается. Идет процесс приработки.

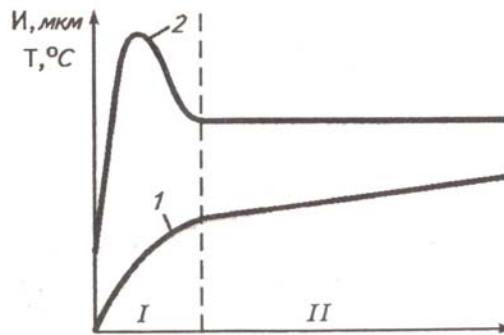
Значительная часть работы трения (70–80 %) переходит в теплоту, поэтому температура на поверхностях трения резко возрастает (I период на кривой изнашивания, рисунок 2.2). При установившемся трении тепловой баланс стабилизируется, и соединение приобретает некоторую среднюю температуру, соответствующую II периоду нормального изнашивания.



а — контакт микровыступов, б — мостик сварки, в — разрыв мостика сварки,  $P$  — нагрузка,  $v$  — скорость относительного перемещения

Рисунок 2.1 — Схемы образования и разрушения мостиков сварки

В период приработки (рисунок 2.2) происходит “перемалывание” старых микронеровностей, полученных при механической обработке, с образованием новых.



I — процесс приработки, II — нормальное изнашивание

Рисунок 2.2 — Зависимости износа (1) и температуры (2) на поверхности трения от наработки

Разделяя процесс изнашивания на два основных периода (первоначальной приработки и нормального изнашивания), механическая теория получила довольно стройный вид. Однако, находясь на позициях механической теории, невозможно объяснить некоторые явления, происходящие при изнашивании материалов. Так, если считать, что изнашивание — следствие лишь процессов деформации и разрушения поверхностных слоев при механическом взаимодействии микронеровностей, то как объяснить тот факт, что чисто обработанные поверхности в процессе трения и изнашивания приобретают определенную шероховатость? Не представляется возможным объяснить и то, что поверхности с высокими механическими свойствами при трении о мягкие поверхности изнашиваются.

Для объяснения указанных явлений профессором Б.В.Дерягиным выдвинута молекулярная теория трения и изнашивания.

**Молекулярная теория.** Эта теория исходит из допущения существования молекулярных сил взаимодействия между контактирующими микровыступами. Факт существования молекулярной адгезии можно увидеть из эмпирической формулы Кулона, полученной им в 1799 г.

$$F = A + \mu N, \quad (2.1)$$

где  $F$  — сила трения;

$A$  — молекулярная составляющая силы трения;

$\mu$  — коэффициент трения;

$N$  — нормальная нагрузка.

Из этой формулы следует, что при  $N = 0$  поверхности трения все-таки взаимодействуют, так как сила трения при этом  $F > 0$  ( $F = A$ ).

В соответствии с молекулярной теорией трения и изнашивания, на отдельных участках трущихся поверхностей молекулы настолько сближаются, что начинает проявляться взаимодействие молекулярных сил, аналогичное притяжению разноименных зарядов. Результат молекулярного взаимодействия между трущимися телами — износ чисто обработанных поверхностей.

Более полно физическую сущность явлений трения и изнашивания отражает молекулярно–механическая теория, предложенная И.В.Крагельским.

**Молекулярно–механическая теория.** Эта теория исходит из предположения, что трение имеет двойственную природу и обусловлено как взаимным внедрением микровыступов трущихся поверхностей, так и силами молекулярного взаимодействия. Молекулярное взаимодействие поверхностей трения невозможно без их тесного сближения. При этом неизбежны внедрение и разрушение микровыступов.

Эта теория с учетом влияния на процесс изнашивания вида трения является общепризнанной.

### 2.1.2 Виды трения

По ГОСТ 27674–88, различают два основных вида трения:

– трение без смазочного материала;

– трение со смазочным материалом.

Особенно опасным считают трение ювенильных (обнаженных) поверхностей. Оно относится к трению без смазочного материала и характеризуется непосредственным взаимодействием между твердыми телами при отсутствии между ними третьей фазы (например, оксидной пленки), способной выполнять смазочную функцию.

Ювенильная поверхность несет значительный запас свободной поверхностной энергии и, следовательно, характеризуется высокой адсорбционной способностью. Коэффициент трения при взаимодействии ювенильных поверхностей достигает 6–7 единиц и сопровождается схватыванием поверхностей (заеданием).

Металлическая поверхность может сохранять ювенильные свойства лишь в условиях высокого вакуума или в атмосфере инертного газа, что встречается при износе деталей в случаях, когда отделяются оксидные пленки и твердые тела вступают в непосредственный контакт. Такое явление наиболее часто имеет место при трении деталей из однородных материалов, например, сталь по стали.

При сухом трении смазочный материал между трущимися поверхностями практически отсутствует. При этом наблюдается механическое зацепление микронеровностей и молекулярное взаимодействие поверхностей в зонах контакта. В этом случае сила трения выражается законом Амонтона–Кулона:

$$F = f \cdot N, \quad (2.2)$$

где  $N$  — нормальная сила;  
 $f$  — коэффициент трения скольжения.

Коэффициент  $f$  зависит от величины микро– и макронеровностей поверхностей, скорости относительного их скольжения, физических свойств трущихся материалов и температуры. Величина коэффициента трения  $f$  “чистых” металлов для металлических пар лежит в пределах от 0,06 до 0,20. При граничном (полусухом, полужидкостном) трении молекулы масла адсорбируются кристаллической решеткой металла, образуя несколько слоев упорядоченных молекул, толщиной около 0,1 мкм. Это позволяет несколько снизить пластические деформации металлов и уменьшать, таким образом, крайне негативные последствия сухого трения. При жидкостном трении контакт поверхностей заменяется трением слоев смазки. Коэффициент трения выражается соотношением:

$$f = \frac{A\mu V}{N}, \quad (2.3)$$

где  $A$  — коэффициент пропорциональности;  
 $\mu$  — коэффициент динамической вязкости;  
 $V$  — скорость относительного перемещения;  
 $N$  — нормальная сила.

Различают жидкостное и граничное трение со смазочным материалом.

Жидкостное трение имеет место при наличии промежуточного слоя смазки, полностью разделяющего трущиеся поверхности. Процессы трения и изнашивания характеризуются при этом не материалом трущихся деталей, а вязкостью смазочного слоя, конструкцией и режимом работы соединения.

Толщина слоя смазки, м,

$$h_{\min} = \frac{d^2 \eta n}{18,36 p S C}, \quad (2.4)$$

где  $d$  — диаметр вала, м;  
 $\eta$  — абсолютная вязкость масла, Нс/м<sup>2</sup>;  
 $n$  — частота вращения вала, с<sup>-1</sup>;  
 $p$  — удельная нагрузка на вал, Н/м<sup>2</sup>;  
 $S$  — зазор (разность диаметров подшипника и вала), м;  
 $C$  — поправка на конечную длину подшипника.

При уменьшении толщины масляного слоя  $h_{\min}$  трущиеся поверхности сближаются. Когда в процессе сближения достигается такое положение, при котором они разделяются не слоем смазки, а масляной пленкой молекулярной толщины, наступает граничное трение.

Граничное трение возникает под действием молекулярных сил трущихся поверхностей, смазочное вещество прочно адсорбируется на поверхностях трения. Полярные концы молекул смазочного вещества образуют на поверхностях трения «молекулярный частокол».

Граничная фаза масляной пленки, находясь под двусторонним воздействием молекулярных сил, приобретает: квазитвердое состояние с расклинивающим давлением, оказывающим сильное сопротивление образованию металлического контакта; скользкое состояние, напоминающее мыло, смоченное водой. Указанные свойства предохраняют трущиеся поверхности от разрушения.

При жидкостном трении контакта трущихся поверхностей вообще не должно быть, равно как и их изнашивания. Согласно гидростатической теории смазки, пусть даже без непосредственного контакта, незначительный износ поверхностей все же наблюдается в результате физико–химических, в том числе и электростатических процессов, возникающих между трущимися поверхностями, и контакта их со смазочным материалом.

В соответствии с ГОСТ 27674–88 различают три вида изнашивания (рисунок 2.3).

**Механическое изнашивание** (Mechanical wear) возникает в результате механических воздействий.

Наиболее распространенным видом механического изнашивания является абразивное изнашивание.

**Абразивное изнашивание** (Abrasive wear) — это механическое изнашивание материала в результате режущего или царапающего действия твердых тел или твердых частиц.

При попадании твердых абразивных частиц на трущиеся поверхности происходит царапание поверхности с образованием стружки. Царапание — это образование углублений на поверхности трения в направлении скольжения при воздействии выступов твердого тела или твердых частиц. Абразивные частицы могут попадать из окружающей атмосферы, при недостаточной фильтрации смазки или образовываться при разрушении микрообъемов трущихся поверхностей.

Примером чисто абразивного изнашивания является изнашивание тормозных накладок и барабанов или дисков, шкворневых соединений, рессорных шарниров автомобиля.

**Гидроабразивное и газоабразивное** (Hydroabrasive (gasoabrasive) wear) изнашивание является разновидностью абразивного изнашивания и происходит в результате действия твердых тел или твердых частиц, увлекаемых потоком жидкости (газа).

Примером гидроабразивного изнашивания является износ элементов шестеренчатых масляных насосов, трубопроводов, плунжерных пар топливной аппаратуры, а газоабразивного — цилиндров компрессора, воздушных жиклеров карбюратора.



Рисунок 2.3 — Виды изнашивания

**Гидроэрозионное (газоэрозионное)** (Hydroerosive (gaserosive) wear) изнашивание происходит в результате воздействия на материал потока жидкости (газа).

Газоэрозионное изнашивание можно наблюдать на рабочих поверхностях тарелок выпускных клапанов двигателя, на зеркале цилиндров двигателя, а гидроэрозионное изнашивание — на поверхности жиклеров карбюратора.

**Кавитационное изнашивание** (Cavitations wear) — это механическое изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает высокое местное ударное давление или высокую температуру.

Очень характерная картина кавитационного изнашивания на лопастях и корпусе водяного насоса двигателя.

**Усталостное изнашивание** (Fatigue wear) — это механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя.

Усталостное изнашивание может происходить как при трении качения, так и при трении скольжения. Например, на беговых дорожках подшипников, поверхности зубьев шестерен, кулачков и т.д.

**Изнашивание при фреттинге** (Fretting wear) — это механическое изнашивание соприкасающихся тел при колебательном относительном микросмещении. Например: изнашивание мест контакта вкладышей шеек коленчатого вала и постели в картере и крышке.

**Изнашивание при заедании** (Adhesive wear) происходит в результате схватывания, глубинного вырывания материала, переноса его с одной поверхности на другую и воздействия возникших неровностей на сопряженную поверхность. Оно приводит к задирам, заклиниванию и разрушению механизмов. Такое изнашивание обуславливается наличием местных контактов между трущимися поверхностями, на которых вследствие больших нагрузок и скоростей происходит разрыв масляной пленки, сильный нагрев и “сваривание” частиц металла. При дальнейшем относительном перемещении поверхностей происходит разрыв связей. Типичный пример — заклинивание коленчатого вала, поршневых колец.

**Коррозионно–механическое изнашивание** (Mechanocorrosive wear) бывает при окислительном изнашивании и фреттинг–коррозии.

При **окислительном изнашивании** (Oxidative wear) преобладает химическая реакция материала с кислородом или окисляющей окружающей средой. Вследствие окисления материала кислородом образуются тонкие пленки, которые затем удаляются с поверхности трения механическим трением, а обнажающиеся поверхности опять окисляются. Такое изнашивание наблюдается на деталях цилиндропоршневой группы, тормозной системы с гидроприводом, гидроусилителе рулевого управления.

**Изнашивание при фреттинг–коррозии** (Fretting corrosion wear) возникает при малых колебательных относительных перемещениях соприкасающихся тел относительно друг друга в коррозионной среде, особенно в условиях вибрации.

**Электроэрозионное изнашивание** (Electroerosive wear) проявляется в эрозионном изнашивании поверхности в результате воздействия разрядов при прохождении электрического тока, например, между электродами свечи зажигания, контактами прерывателя и т.д.

### 2.1.3 Процесс изнашивания деталей

Процесс изнашивания поверхностей деталей любой техники, в частности автомобилей, подразделяются на три периода, согласно рисунку 2.4.

На рисунке 2.4 символами показаны: I — период приработки ( $I_a$  — начальная приработка,  $I_b$  — окончательная приработка); II — период стабильного или нормального изнашивания ( $II_a$  — с замедленной скоростью,  $II_b$  — с увеличенной скоростью); III — период предельного изнашивания ( $III_a$  — ускоренного изнашивания до критического износа,  $III_b$  — изнашивание после критического износа);  $\alpha$  — угол, характеризующий наклон касательной к



графику, характеризующий темп изнашивания;  $I_K$  — износ в конце приработки;  $I_{кр}$  — критический износ.

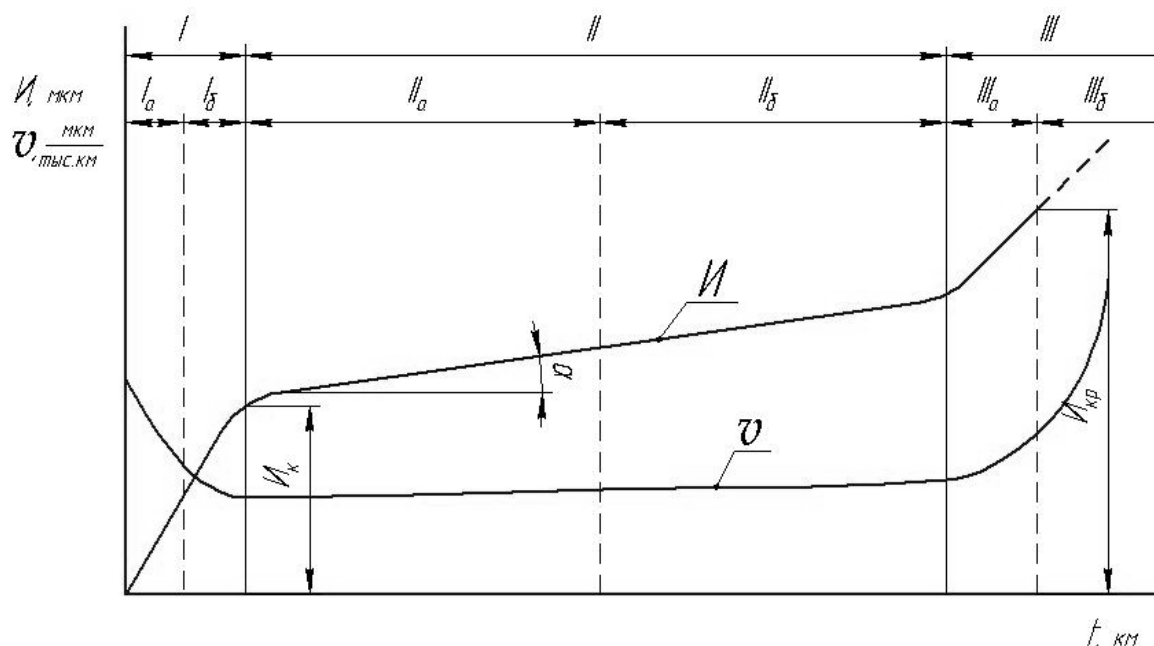


Рисунок 2.4 — Диаграмма изнашивания деталей автомобилей

Приработка — это процесс изменения геометрии поверхностей трения и физико-механических свойств поверхностных слоев материала в начальный период трения, обычно проявляющийся при постоянных внешних условиях в уменьшении работы трения, температуры и интенсивности изнашивания. Уменьшение приработочных износов достигается работой деталей в облегченных скоростных и нагрузочных режимах, применением специальных масел и усиленной очисткой их от продуктов износа. Для большинства конструктивных элементов современных автомобилей полная приработка по пробегу автомобиля составляет 3–3,5% от их ресурса до КР или списания.

Период установившегося изнашивания (II период) характеризуется постоянной интенсивностью  $v_u = \text{const}$  при постоянном угле наклона  $\alpha$  прямой на графике. В этот период происходит срабатывание и восстановление примерно стабильных по величине микронеровностей поверхностей и постепенное накопление макронеровностей — изменение размеров и формы деталей.

Этот период называют еще эксплуатационным или рабочим периодом. Период по пробегу составляет до 95% от ресурса конструктивных элементов автомобиля до КР или списания.

Износ увеличивает зазоры в сопряжениях деталей, что приводит к ухудшению условий смазывания и повышению динамических, ударных нагрузок, разрушаются специально обработанные износостойкие поверхностные слои. Интенсивность изнашивания повышается — наступает период аварийного изнашивания (участок III). Чтобы не допустить полного разрушения детали и его сопряжения, предельный износ  $I_{\text{max}}$ , соответствующий предельному состоянию детали, назначают на начало этого периода.

Эксплуатация изделия в этот период крайне нежелательна в силу не только резкого возрастания изнашивания поверхностей деталей, но и по соображениям потери эффективности работы, безопасности и экологичности. Пример — предельное состояние автомобильного двигателя. Резко увеличивается расход топлива и особенно моторного масла — эксплуатация неэффективна. Резко увеличивается токсичность отработавших газов — эксплуатация небезопасна с экологической точки зрения. К тому же в любое время из-за низкого давления в смазочной системе может произойти "заклинивание" двигателя. После так называемого критического износа эксплуатация агрегата, в который входит данная деталь, должна быть прекращена.

Интенсивность изнашивания, являющаяся отношением величины износа к объему выполненной работы или наработке, на которой происходило изнашивание детали, зависит от различных факторов.

На работоспособность подвижных сопряжений решающее влияние оказывают зазоры между деталями, которые, как отмечалось выше, увеличиваются в процессе работы вследствие изнашивания деталей. Как правило, в сопряжение входят детали различной стоимости и сложности, и с различной интенсивностью изнашивания. В автомобилях такими сопряжениями являются: коленчатый вал и подшипники; цилиндры и поршневые кольца двигателя; тормозной барабан и накладки тормозных колодок и т.д. Для обеспечения наибольшей эффективности эксплуатации и в целях снижения общих затрат на проведение ремонтных операций, детали, позволяющие заменить их с наименьшими затратами, проектируют и изготавливают из материалов, обеспечивающих более высокую интенсивность изнашивания по сравнению с базовыми деталями и имеющими более низкую стоимость.

Схема изменения зазора  $S$  в течение пробега  $L_p$  автомобиля до предельного износа  $I_{\max}$  деталей сопряжения представлена на рисунке 2.5.

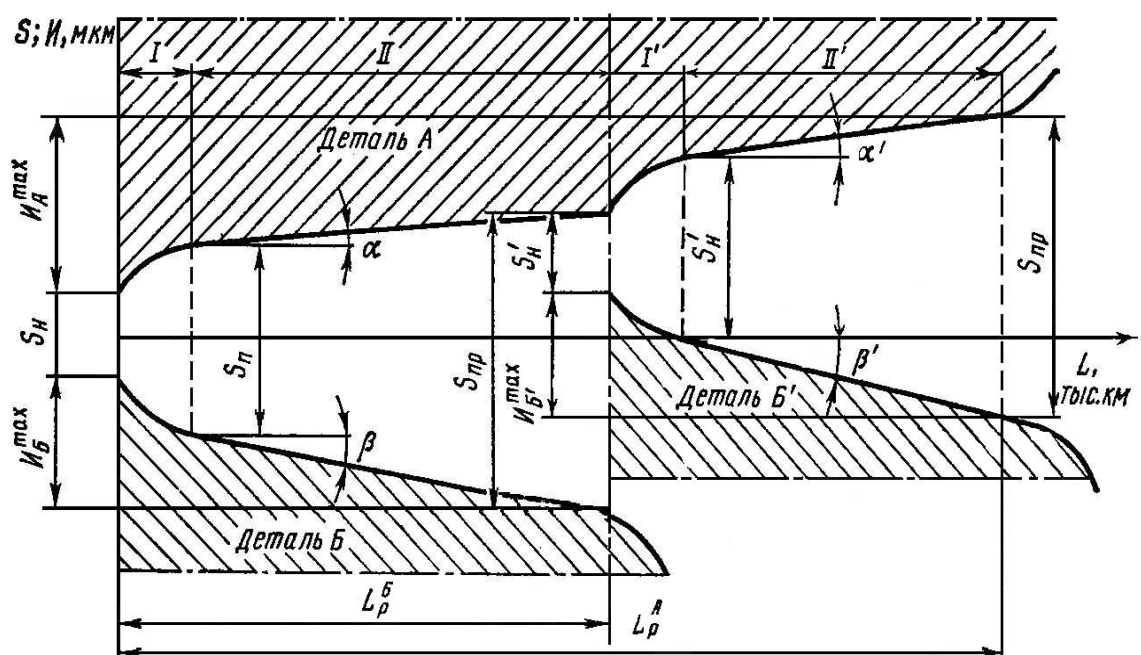


Рисунок 2.5 — Изменение зазора в сопряжении

Основные закономерности изменения зазора в сопряжении деталей следующие.

Изнашивание деталей А и Б в период I и II увеличивает зазор от номинального  $S_n$ , полученного при сборке, до приработочного  $S_n$  и предельного  $S_{пр}$ , соответствующего предельному износу  $I_B$  быстроизнашивающейся детали Б.

Интенсивность изнашивания деталей сопряжения, как правило, различна ( $\beta > \alpha$ ), поэтому быстроизнашиваемую деталь Б сопряжения меняют на запасную часть Б', стремясь восстановить зазор до примерно номинального  $S_n'$ .

При значительном износе детали А на пробеге автомобиля до замены детали Б для восстановления зазора  $S_n'$  целесообразно установить запасную часть Б' не с номинальным, а ремонтным размером; при этом, если это деталь тела типа "вал" (поршень, поршневое кольцо), размер должен быть больше номинального, а если типа "отверстие" (шатунные и коренные вкладыши) – меньше номинального.

Периоды процесса изнашивания после восстановления зазора повторяются — I', II' — до предельного износа  $I_A^{max}$  детали. Однако вследствие накопления повреждений не замененной детали А интенсивность изнашивания может несколько возрасти ( $\alpha' > \alpha; \beta' < \beta$ ).

Наработка до замены запасной части Б', как правило, меньше ресурса детали Б из-за возрастания интенсивности изнашивания.

## 2.2 Пластические деформации и разрушения

Существует два вида деформаций — упругая и пластическая.

Пластическая деформация происходит под действием силовых нагрузок, превышающих предел текучести (при изгибе, кручении, растяжении и смятии поверхностей). При этом меняются размеры и формы деталей, хотя масса деталей остается прежней. В процессе эксплуатации автомобилей изгибаются и скручиваются коленчатый и распределительный валы двигателей и валы трансмиссий. Происходит смятие резьбы, шпонок, шлицев, кузова, оперения и т.д.

Если при резком возрастании нагрузок напряжения в деталях превышают предел прочности, детали разрушаются. Обычно этот вид разрушения является следствием либо ошибок при конструировании, либо нарушений правил эксплуатации (перегрузки, неправильное управление автомобилем, дорожно-транспортные происшествия и т.д.).

Иногда пластическим деформациям или разрушениям предшествует механическое изнашивание, приводящее к изменению геометрических размеров и сокращению запасов прочности детали.

## **2.3 Усталостные разрушения**

Этот вид разрушений возникает при циклическом приложении нагрузок, превышающих предел выносливости металла детали. При этом происходит постепенное накопление и рост усталостных трещин, приводящие при определенном числе циклов нагружения к усталостному разрушению детали. Как правило, данный вид разрушений происходит в экстремальных условиях эксплуатации (длительные перегрузки или высокие температуры) у рессор, полуосей, рамы. Разрушение от усталости часто является результатом дефектов обработки поверхности, образования концентраторов напряжения на границах участков, “ожога” при шлифовании, поверхностного наклепанного слоя. Между значениями шероховатости поверхности и пределом выносливости существует простая экспоненциальная зависимость. С уменьшением шероховатости уменьшается количество концентраторов напряжений и, следовательно, повышается предел выносливости. Совершенствование методов расчета и технологии изготовления автомобилей привело к значительному сокращению случаев разрушения деталей.

## **2.4 Коррозия**

Данное явление происходит вследствие агрессивного воздействия среды на детали, приводящего к окислению (ржавлению) металла и, как следствие, к уменьшению прочности и ухудшению внешнего вида.

Основными активными агентами внешней среды, вызывающими коррозию, являются соль, которой посыпают дороги зимой, кислоты, содержащиеся в воде и почве, а также компоненты, входящие в состав отработавших газов автомобилей, и их химические соединения.

Коррозия главным образом поражает детали кузова, кабины и рамы. Для деталей кузова, расположенных снизу, коррозия сопровождается абразивным изнашиванием в результате воздействия на поверхность при движении автомобиля абразивных частиц — песка, гравия и т.д. Сильно способствует коррозии сохранение влаги на металлических поверхностях, в том числе под слоем дорожной грязи, что особенно характерно для всякого рода скрытых полостей и ниш. Коррозия способствует усталостному изнашиванию и разрушению, так как создает на поверхности металла концентраторы напряжения в виде коррозионных язв.

## **2.5 Старение**

Показатели технического состояния деталей и эксплуатационных материалов ухудшаются под действием внешней среды. Так, резинотехнические изделия теряют прочность и эластичность в результате термического воздействия (разогрев и охлаждение), химического воздействия масла, топлива и жидкостей, а также солнечной радиации и влажности.

В процессе эксплуатации свойства смазочных материалов и эксплуатационных жидкостей ухудшаются в результате накопления в них продуктов износа, изменения вязкости и потери свойств присадок.

Детали и материалы изменяются не только при использовании, но и при хранении: снижается прочность и эластичность резинотехнических изделий; у топлива, смазочных материалов и жидкостей наблюдаются процессы окисления, сопровождаемые выпадением осадков.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные виды изнашивания?
2. На какие подвиды можно подразделить механическое изнашивание?
4. С помощью, каких показателей можно характеризовать процесс изнашивания деталей?

## **3 ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Факторы, влияющие на интенсивность изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации можно подразделить на конструктивные и эксплуатационные.

### **3.1 Конструктивные факторы**

Возможность поддержания работоспособного технического состояния автомобиля в течение длительной эксплуатации в первую очередь обеспечивается конструктивными и технологическими мероприятиями при его создании. Конструкторы при проектировании, испытании и доводке, а технологи на стадии производства работают над улучшением всех свойств надежности автомобиля.

Конструктивные мероприятия включают разработку конструкций с наиболее работоспособными схемами при улучшенных условиях взаимодействия деталей в благоприятной и стабильной внутренней среде, требующих наименьшего и удобного обслуживания. Эти мероприятия рассчитаны на определенный уровень технологии производства, обеспечивающей требуемую точность и стабильность размеров деталей, чистоту и прочность поверхностей.

Конструкция должна быть технологична, т.е. приспособлена к изготовлению на имеющемся оборудовании. Поэтому комплекс конструктивных и технологических мероприятий принято рассматривать совместно.

При конструировании автомобиля его системы формируют сборочными единицами, поагрегатно: двигатель, карбюратор, редуктор заднего моста, коробка перемены передач и т.д. Это позволяет повысить надежность агрегатов путем их изготовления на специализированных участках, в цехах и на за-

водах (моторных, карбюраторных, агрегатных и др.), а также обеспечить высокую степень унификации автомобилей по агрегатам, узлам, механизмам, комплектующему оборудованию, по размещению органов управления и контрольно-измерительных приборов.

Очень важным при конструировании является согласование характеристик агрегатов. Так, улучшение выходных характеристик вспомогательных агрегатов может обеспечить надежность всей системы. Например, внедрение транзисторов и тиристоров в систему зажигания двигателей улучшает нагрузочный режим контактов прерывателя — распределителя, обеспечивает стабильную выходную характеристику системы зажигания, в результате чего повышается ресурс не только контактов прерывателя, но и основных деталей двигателя.

Надежность отдельных систем автомобиля обеспечивают применением резервирования элементов схемы. Введение многоконтурных приводов тормозов исключает аварийную ситуацию при отказе одного из приводов. Часто резервируют и систему запуска двигателя.

При конструировании агрегатов обеспечивают рациональные режимы работы деталей и сопряжений, жесткость конструкции, исключаящую нарушение сопряжений деталей, благоприятную стабильную внутреннюю среду, удовлетворительный температурный режим, приспособленность к ремонту.

Рациональная схема агрегата позволяет обеспечить и рациональные режимы его работы, снизить динамические нагрузки, уменьшить вибрации и деформации, повысить жесткость. Например, очень рациональна конструктивная схема короткоходных двигателей (отношение хода поршня к диаметру цилиндра  $S/d < 1$ ). В этой схеме упрощается размещение клапанов, повышается жесткость коленчатого вала, уменьшается средняя скорость поршня, а следовательно уменьшается интенсивность изнашивания деталей.

Для уменьшения инерционных нагрузок в газораспределительном механизме современных высокооборотных двигателей применено верхнее размещение распределительных валов, которое исключает из конструкции толкатели и штанги.

Снижение динамических нагрузок в двигателях и трансмиссиях достигается применением в агрегатах косозубых шестерен, гипоидных передач, синхронизаторов, гасителей крутильных колебаний, балансировкой деталей.

Жесткость картеров и основных валов агрегатов обеспечивается выбором их размеров и улучшением конструкции: понижением плоскости разъема блока цилиндров относительно оси коленчатого вала, внедрением полноопорных коленчатых и распределительных валов двигателей.

Надежность агрегатов автомобиля во многом зависит от физико-химического состава и загрязненности топлива, других жидкостей и газов, заполняющих их внутренние полости, т.е. зависит от организации внутренней среды. Для защиты внутренней среды агрегатов и, следовательно, поверхностей трения от абразивных частиц разрабатывают средства улучшенной очистки воздуха, масла, герметизируют все места возможного проникновения пыли.

Внедрение закрытой системы вентиляции картера двигателя на всех основных моделях легковых автомобилей позволило не только увеличить ресурс двигателей и повысить срок службы масла, но и уменьшить на 15–20% выброс в атмосферу углеводородов.

В конструкциях современных автомобилей особое внимание уделяется удобству замены и контроля уровней и давления жидкостей и газов, очистке внутренних полостей агрегатов. Стараются обеспечить возможность возобновления в эксплуатации антикоррозионного покрытия элементов кузова, особенно его закрытых полостей.

При интенсификации рабочих процессов агрегатов автомобиля особое значение придается влиянию температурного режима на износ. При этом, как правило, учитывается, что надежная работа агрегатов обеспечивается, только при определенном интервале температур. Так, например температурный режим современного двигателя соответствует температуре 70–100°С охлаждающей жидкости, и при этом обеспечивается наименьший суммарный износ деталей.

Перегрев двигателя вызывает резкие местные повышения температуры деталей и может вызвать деформации и трещины головки блока цилиндров, задиры, оплавления и прогар деталей цилиндро–поршневой группы и клапанов. Переохлаждение двигателя, которое имеет место, например, при пуске холодного двигателя, приводит к образованию в цилиндре кислот из выхлопных газов, что резко увеличивает интенсивность коррозионно-механического изнашивания, а также ухудшению условий смазки. Поэтому при конструировании большое внимание уделяется организации теплоотвода и обеспечению равномерности температуры деталей: натриевое охлаждение и устройства для вращения выпускных клапанов двигателя; специальные канавки на поршне; улучшение и постоянное совершенствование радиаторов; введение в систему автоматических регуляторов (термостаты, муфты отключения вентиляторов) и сигнализаторов температур. Внедрение в тормозные системы автопоездов и автомобилей большой массы, особенно работающих в горных условиях, тормозов–замедлителей и вентилируемых тормозных дисков связано в основном с необходимостью снижения температуры тормозов.

### **3.2 Влияние условий эксплуатации на изменение технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта**

Условия эксплуатации влияют на режимы работы агрегатов и деталей, ускоряя или замедляя изменение параметров их технического состояния.

При эксплуатации автомобилей все множество факторов, действующих на него, принято подразделять по следующим видам условий:

- 1) дорожные условия;
- 2) условия движения;
- 3) природно-климатические и сезонные условия;
- 4) транспортные условия (или условия перевозок).

Дорожные условия в первую очередь определяют режимы работы агрегатов автомобиля (диапазон нагрузок и скоростей; передаваемый крутящий момент, частота вращения коленчатого вала, динамические нагрузки от неровностей дорог, передаточные числа коробки передач). Они характеризуются технической категорией дороги, видом и качеством дорожного покрытия и рельефом местности (расположением дороги по высоте над уровнем моря).

От этих режимов зависит износ и работоспособность отдельных элементов автомобиля. Так, расчеты показывают, что наибольший износ деталей цилиндро–поршневой группы двигателя наблюдается при движении автомобиля на I передаче, а наименьший — на прямой и повышенных передачах. Каждой передаче соответствует и определенная скорость, при которой износ двигателя будет минимальным.

Однако далеко не всегда удается реализовать оптимальный режим движения, обеспечивающий минимальный износ деталей. Так, например, при движении автомобилей по неровным дорогам возникают непрерывные колебания поддрессоренных и неподдрессоренных масс, амплитуды и ускорения которых достигают значительных величин. В случаях переезда отдельных неровностей на большой скорости вертикальные ускорения достигают 20–30 м/с<sup>2</sup>. Все это не дает возможности выдерживать оптимальные режимы на дорогах с плохим покрытием.

В соответствии с существующими нормативными документами, дороги, в зависимости от вида и качества дорожного покрытия, подразделяются на шесть категорий:

Д<sub>1</sub> — цементобетон, асфальтобетон, брусчатка, мозаика;

Д<sub>2</sub> — битумоминеральные смеси (щебень или гравий, обработанные битумом);

Д<sub>3</sub> — щебень (гравий) без обработки, дегтебетон;

Д<sub>4</sub> — булыжник, колотый камень, грунт и мало прочный камень, обработанные вяжущими материалами, зимники;

Д<sub>5</sub> — грунт, укрепленный или улучшенный местными материалами; лежневое и бревенчатое покрытия;

Д<sub>6</sub> — естественные грунтовые дороги; временные внутрикарьерные и отвальные дороги; подъездные пути, не имеющие твердого покрытия.

При движении по дорогам с различным покрытием значительно изменяется коэффициент сопротивления качению. Давление воздуха в шинах также значительно влияет на величину сопротивления качению и на проходимость автомобиля, поэтому автомобили повышенной проходимости оснащают автоматическими системами изменения давления воздуха в шинах (таблица 3.1).

Так, при движении по дороге первой категории коэффициент сопротивления качению  $f \approx 0,014$ , а на естественном грунте (VI категория)  $f \approx 0,08$ , т.е. возрастает в 5–6 раз. Реализуемая скорость падает в 3 раза. Среднее количество оборотов коленчатого вала двигателя на 1 км. пути возрастает с 2200 до 4822. Число торможений на 1 км возрастает с 0,24 до 0,9, а число пе-



реключений передач с 0,52 до 3,2. Это все приводит к значительному увеличению интенсивности изнашивания деталей и агрегатов автомобиля.

Таблица 3.1 — Значение коэффициента сопротивления качению  $f$  колесного движителя в различных дорожных условиях

№	Дорожные условия	Давление воздуха в шинах	
		Номинальное	Сниженное
1	Дорога I категории	0,012–0,020	0,030–0,040
2	Дорога II и III категорий	0,015–0,025	0,035–0,045
3	Грунтовая дорога: — сухая; — в распутицу	0,025–0,035	0,040–0,060
		0,150–0,250	0,080–0,150
4	Снежная целина	0,250–0,350	0,180–0,250
5	Заболоченная местность	0,500–0,650	0,35–0,450

Тип рельефа местности определяется высотой над уровнем моря и подразделяется на пять категорий:

- $P_1$  — равнинный (до 200 м.);
- $P_2$  — слабохолмистый (свыше 200 до 300 м.);
- $P_3$  — холмистый (свыше 300 до 1000 м.);
- $P_4$  — гористый (свыше 1000 до 2000 м.);
- $P_5$  — горный (свыше 2000 м.).

Высота над уровнем моря ( $H$ ) существенно влияет на выходные эффективные показатели автомобильных двигателей. С ее увеличением у всех двигателей падает мощность, так как падает коэффициент наполнения цилиндров из-за уменьшения разницы атмосферного давления и давлений, создаваемых в цилиндрах ДВС.

Наибольшее влияние  $H$  оказывает на эффективные показатели карбюраторных двигателей, меньше дизелей без наддува и еще меньше — дизелей с наддувом. Это напрямую связано со способом наполнения цилиндров указанных типов ДВС (таблица 3.3).

Таблица 3.2 — Изменение мощности различных двигателей с изменением высоты над уровнем моря ( $H$ )

Показатель	Высота ( $H$ ), м				
	0	1000	2000	3000	4000
1. Давление, кПа	120	89,7	70,3	70,2	61,8
2. Относительная плотность воздуха	1	0,91	0,82	0,72	0,67
3. Температура окружающего воздуха	15	8,5	2	–4,5	–11
4. Снижение номинальной мощности, %					
– дизельный с наддувом	0	2	5	9	14
– дизельный без наддува	0	3,5	9	17	29
– карбюраторный	0	17	34	47	57

Условия движения характеризуются влиянием внешних факторов на режимы движения и, следовательно, на режимы работы автомобиля и его агрегатов. Так, режим работы грузовых автомобилей при интенсивном городском движении отличается от режимов работы на загородных дорогах (при одинаковом покрытии) следующим образом: скорость в первом случае на 50–

52% меньше, средняя частота вращения коленчатого вала больше на 130–136%, число переключений передач больше в 3–3,5 раза, удельная работа трения тормозных механизмов в 8–8,5 раз больше, пробег при криволинейной траектории движения больше в 3–3,6 раза.

Нормативными документами выделяется три группы условий движения:

$У_1$  — за пределами пригородной зоны;

$У_2$  — в малых городах с числом жителей менее 100 тыс. чел.;

$У_3$  — в больших городах с числом жителей свыше 100 тыс. чел.

Категории автомобильных дорог классифицируются по скорости и интенсивности движения, а также параметрам элементов дорог (таблица 3.3).

Таблица 3.3 — Основные технические характеристики автомобильных дорог (по СНиП 2.05.02-85)

Показатели	Категория дороги					
	I-а	I-б	II	III	IV	V
Перспективная среднесуточная интенсивность движения автомобилей в обоих направлениях, авт/сут	Более 7000	Более 7000	3000–7000	1000–3000	100–1000	Менее 100
Расчетная скорость движения, км/ч:						
– основная;	150	120	120	100	80	60
– для трудных участков пересеченной местности;	120	100	100	80	60	40
– для трудных участков горной местности	80	60	60	50	40	30
Число полос движения	4/6/8	4/6/8	2	2	2	1
Ширина полосы движения, м	3,75	3,75	3,75	3,5	3	-
Ширина проезжей части (в обоих направлениях), м	15/22,5/30	15/22,5/30	7,5	7,0	6,0	4,5
Ширина обочин, м	3,75	3,75	3,75	2,5	2,0	1,75
Наименьшая ширина разделительной полосы между разными направлениями движения, м	6,0	5,0	-	-	-	-
Ширина земляного полотна, м	28,5/36/43,5	27,5/35/42,5	15	12	10	8
Наименьшие радиусы кривых, м:						
– основные	1200	800	800	600	300	150
– в горной местности	250	125	125	100	60	30

Автомобильные дороги в зависимости от показателей указанных в таблице 3.3, их народнохозяйственного и административного значения подразделяются на пять основных категорий. Категория I в свою очередь имеет две подкатегории: I-а и I-б. При этом к категории I-а относятся наиболее совершенные магистральные автомобильные дороги общегосударственного значения, в том числе предназначенные для международного сообщения. К ос-

тальным категориям относятся прочие дороги общегосударственного, республиканского, краевого и областного, а также местного значения.

Совокупное влияние дорожных условий и условий движения автомобилей на нормативы технической эксплуатации учитывается посредством классификации условий эксплуатации по категориям (таблица 3.4).

Категория условий эксплуатации — важный фактор, который учитывается при корректировании нормативов технической эксплуатации автомобиля, а именно периодичности технического обслуживания, трудоемкости технического обслуживания и ремонтов, ресурса автомобиля и его агрегатов, потребного количества запасных частей и эксплуатационных материалов и т.д.

Таблица 3.4 — Классификация условий эксплуатации

Категория условий эксплуатации	Условия движения		
	За пределами пригородной зоны (более 50 км от границы города)	В малых городах (до 100 тыс. жителей) и в пригородной зоне	В больших городах (более 100тыс. жителей)
I	Д <sub>1</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub>	-	-
II	Д <sub>1</sub> – Р <sub>4</sub> Д <sub>2</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> Д <sub>3</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub>	Д <sub>1</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> Д <sub>2</sub> – Р <sub>1</sub>	-
III	Д <sub>1</sub> – Р <sub>5</sub> Д <sub>2</sub> – Р <sub>5</sub> Д <sub>3</sub> – Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub> Д <sub>4</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub>	Д <sub>1</sub> – Р <sub>5</sub> Д <sub>2</sub> – Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub> Д <sub>3</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub> Д <sub>4</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub>	Д <sub>1</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub> Д <sub>2</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> Д <sub>3</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> Д <sub>4</sub> – Р <sub>1</sub>
IV	Д <sub>5</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub>	Д <sub>5</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub>	Д <sub>2</sub> – Р <sub>5</sub> Д <sub>3</sub> – Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub> Д <sub>4</sub> – Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub> Д <sub>5</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub>
V	Д <sub>6</sub> – Р <sub>1</sub> , Р <sub>2</sub> , Р <sub>3</sub> , Р <sub>4</sub> , Р <sub>5</sub>		

### 3.3 Транспортные условия эксплуатации

Транспортные условия эксплуатации автомобилей характеризуются условиями маршрутов, которые определяются рядом коэффициентов и показателей:

- $l$  — длина груженой ездки, км;
- $\beta$  — коэффициент использования пробега;
- $\gamma$  — коэффициент использования грузоподъемности;
- $i$  — средняя величина уклона на дороге, %;
- $K_{пр}$  — коэффициент использования прицепов;
- $\Pi$  — коэффициент помехонасыщенности маршрута (отношение скорости автомобиля на данном маршруте к скорости автомобиля на загородном участке дороги I категории);
- родом перевозимого груза.

### 3.4 Природно–климатические условия

Природно-климатические условия эксплуатации автомобилей характеризуется температурой окружающего воздуха, его влажностью и запыленностью, интенсивностью атмосферных осадков, ветровой нагрузкой, солнечной радиацией, сезонными колебаниями условий эксплуатации, агрессивностью окружающей среды и высотой над уровнем моря.

Основным природно–климатическим фактором, влияющим на техническое состояние автомобиля, является температура окружающего воздуха. Наименьшее количество отказов конструктивных элементов автомобилей происходит при температурах окружающего воздуха, лежащих в интервале от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $+15^{\circ}\text{C}$ . Территория России и прилегающих к ней стран была разделена на 10 климатических районов (таблица 3.5), в каждом из которых нормативы технической эксплуатации корректируются за счет соответствующих коэффициентов.

Влажность воздуха в сочетании с температурой окружающего воздуха существенно влияет на изменение технического состояния автомобиля с точки зрения коррозии конструкционных металлов. При больших их значениях создаются условия для интенсивной коррозии металлов, ухудшения свойств эксплуатационных материалов за счет их деструкции (насыщения водой).

При движении автомобиля по дорогам различного качества в трущиеся узлы попадает кварцевая пыль, являющаяся основным источником абразивного изнашивания. Особый вред оказывают мелкодисперсные частицы пыли, так как они практически не задерживаются фильтрующими элементами. По высоте от уровня земли количество пыли уменьшается, поэтому в практике автостроения и действует тенденция расположения воздухозаборников, как можно выше. Особенно часто это применяется при конструировании и производстве автомобилей с дизельными двигателями.

Таблица 3.5 — Климатические районы

Климатический район	Средняя температура, °C		Среднее значение относительной влажности воздуха, %
	январь	июль	
Очень холодный	-50...-30	2...18	-
Холодный	-50...-30	2...25	-
Умеренно холодный	-30...-15	8...25	-
Умеренный	-15...-8	8...25	Менее 80
Умеренно влажный	-15...-10	10...20	Более 80
Умеренно теплый	-8...-4	16...25	Менее 70
Умеренно теплый влажный	-8...-4	16...25	Более 70
Теплый влажный	0...4	20...25	Более 70
Жаркий сухой	-15...-4	25...30	Менее 40
Очень жаркий	-4...+4	Более 30	Менее 20

При выпадении снега и дождя условия движения автомобилей становятся более тяжелыми. Это заставляет водителя двигаться на пониженных

передачах и малых скоростях, чаще применять режимы торможения. Кроме того, снижается комфортабельность, повышается коррозия металлов.

Интенсивность выпадения осадков на территории умеренного климатического района, как правило, не превышает 3–3,5 мм/мин (кратковременно) и 1,5–1,6 мм/мин при длительном периоде (более 30 мин).

Ветер влияет на интенсивность охлаждения двигателя. Например, при увеличении скорости ветра от 0 до 10 м/с темп охлаждения деталей увеличивается в 3 раза. По средним значениям температур и ветров от нагрузки для умеренного климатического района двигатель автомобиля зимой остывает до температуры окружающего воздуха за 25–30 мин, летом — за 3 часа.

При воздействии солнечных лучей на поверхность автомобиля выгорает лакокрасочное покрытие, размягчаются шины автомобиля и все открытые резиновые уплотнения, чем нарушается их нормальное функционирование.

Агрессивность окружающей среды связана с повышенной коррозионной активностью воздуха, свойственной прибрежным морским районам. Такие условия вызывают интенсивную коррозию деталей автомобилей, увеличивая трудоемкость ТО и текущего ремонта, потребность в запасных частях примерно на 10%. При этом ресурс автомобилей также сокращается. Агрессивной окружающей средой для автомобилей является также химический груз. Все это также учитывается при корректировании нормативов ТЭА.

Сезонные колебания условий эксплуатации автомобилей обусловлены колебаниями температуры окружающего воздуха, изменениями дорожных условий по временам года, с появлением ряда дополнительных факторов, влияющих на интенсивность изменения параметров технического состояния автомобиля, например, пыли летом, влаги и грязи осенью или весной.

В зависимости от сезона показатели надежности автомобилей изменяются в значительной степени (таблица 3.6).

Таблица 3.6 — Средние значения показателей надежности городских автобусов большого класса по сезонам в умеренном климатическом районе

Показатель	Сезон			
	летний*	осенний	зимний	весенний
1. Нарботка на случай ремонта, %	100	97	81	94
2. Нарботка на линейный отказ, %	100	88	77	88
3. Потери линейного времени по техническим причинам:				
– число случаев, %	100	114	128	115
– часов, %	100	112	125	112
* 100% — условное значение				

### Контрольные вопросы.

1. Назовите основные факторы, влияющие на техническое состояние транспортных средств.
2. Чем характеризуются природно-климатические условия?
3. В чем заключаются основные отличия конструктивных и эксплуатационных факторов?

## 4 КЛАССИФИКАЦИЯ ОТКАЗОВ

Отказы и неисправности, возникающие в процессе эксплуатации автомобиля, значительно различаются между собой по виду, характеру, причинам возникновения, трудоемкости и стоимости устранения.

Без анализа отказов, изучения их функциональной сущности, частоты повторения, влияния на продолжительность простоя в ремонте невозможно в полной мере воздействовать на эксплуатационную надежность автомобиля.

Классификация отказов необходима для выявления причин их возникновения и разработки мероприятий по предупреждению и устранению отказов.

Отказы можно классифицировать по следующим показателям.

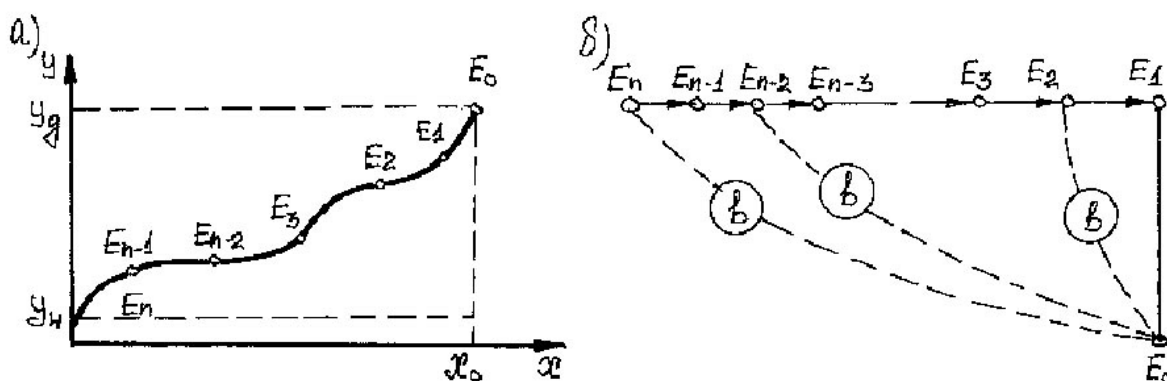
1. По влиянию на работоспособность объекта:
  - отказы элементов;
  - отказы объекта в целом.
2. По источнику возникновения:
  - конструкционные (несовершенство конструкции);
  - производственные (нарушение технологии изготовления или ремонта);
  - эксплуатационные (перегруз, некачественные или непредусмотренные для использования на данном автомобиле горюче-смазочные материалы, несвоевременное проведение технического обслуживания, нарушение режимов движения).

Отказы по эксплуатационным причинам составляют от 40 до 50% от общего числа отказов.

3. По связи с отказами других элементов:
  - зависимые отказы (обусловленные отказом или неисправностью других элементов (отказ АКБ из-за отказа регулятора напряжения, задир гильзы из-за поломки колец);
  - независимые отказы (нарушение изоляции, прокол шин и т.п.).
4. По характеру (закономерности возникновения и возможности прогнозирования):
  - постепенные отказы;
  - внезапные отказы;
  - перемежающиеся отказы.

Постепенные отказы возникают в результате плавного изменения показателей. Особенность постепенных отказов заключается в том, что они могут прогнозироваться и могут быть своевременно предотвращены. Данный вид отказов характерен для кузова, дисков сцепления, редуктора заднего моста. Для внезапных отказов характерным признаком является скачкообразное изменение показателей технического состояния. Например, превышение допустимого уровня нагрузки. При старении автомобиля удельный вес внезапных отказов увеличивается. Внезапный отказ характерен для системы выпуска отработавших газов, подвески и электрооборудования. Доли постепенных и

внезапных отказов распределены примерно поровну для двигателя, а также тормозной системы.



$E_0$  — состояние отказа;  $E_n$  — начальное состояние;  $X_0$  — наработка на отказ (достижение предельного состояния)

Рисунок 4.1 — Механизм возникновения постепенных (а) и внезапных (б) отказов

Перебегающий отказ отличается тем, что он многократно возникает и самоустранивается. Данный вид отказа наиболее характерен при ослаблении электрических контактов.

5. По частоте возникновения (наработке) отказы подразделяются на отказы с малой наработкой (3–4 тыс. км.); отказы со средней наработкой (12–16 тыс. км.) и отказы с большой наработкой (более 16 тыс. км.).

Нарботка на отказ значительно уменьшается с увеличением пробега с начала эксплуатации (рисунок 4.2).

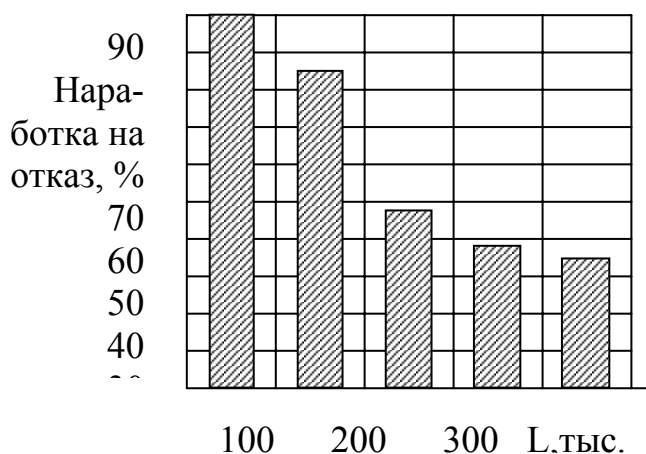


Рисунок 4.2 — Зависимость наработки на отказ от пробега с начала эксплуатации

6. По трудоемкости устранения отказы подразделяются на отказы с малой трудоемкостью (до 2 чел.– ч.), средней трудоемкостью (2–4 чел.– ч) и большой трудоемкостью (более 4 чел.– ч).

7. По влиянию на потери рабочего времени автомобиля отказы делятся на устраняемые без потери рабочего времени (при ТО или в нерабочее время) и устраняемые с потерей рабочего времени.

8. Отказы можно классифицировать по внешним проявлениям (таблица 4.1).

Таблица 4.1 — Внешние признаки отказов

№	Внешние признаки	%
1	Износ	49,4
2	Обрыв, срыв, разрыв	11,3
3	Закоксование	8,3
4	Трещины, поломка	12,6
5	Прогар, перегорание	5,7
6	Замыкание, нарушение изоляции	3,0
7	Выкрашивание, задиры	1,9
8	Ослабление крепления, срез резьбы	2,8
9	Проседание, потеря упругости	0,8
10	Засорение	0,7
11	Прокол	0,7
12	Заклинивание, погнутость, изгиб	0,8

При организации ТО и ТР, определении потребности в рабочей силе и средствах обслуживания важно знать распределение неисправностей по агрегатам, механизмам и узлам автомобиля (таблица 4.2).

Таблица 4.2 — Распределение отказов и трудоемкость их устранения

№	Агрегат или система	Средняя трудоемкость устранения отказа, чел.-ч.	Распределение числа отказов, %	Суммарная трудоемкость устранения отказов, чел.-ч.
1	Двигатель	3,9	42,8	43,6
2	КПП	6,3	7,5	17,7
3	Сцепление	5,6	6,4	8,7
4	Задний мост	4,3	5,2	7,2
5	Кабина	2,8	1,3	4,2
6	Тормозная система	1,8	8,4	3,8
7	Колеса и ступицы	2,1	5,7	3,4
8	Карданный вал	3,3	3,4	2,7
9	Платформа	4,3	2,4	2,4
10	Электрооборудование	1,2	7,5	2,4
11	Подвеска	1,6	4,7	1,8
12	Рулевое управление	1,4	3,4	1,2
13	Передний мост	2,9	1,3	1,0

### Контрольные вопросы

1. По каким показателям классифицируются отказы?
2. Как характеризуются отказы по характеру возникновения и возможности прогнозирования?
3. В чем заключается отличие постепенных и внезапных отказов?



## 5 ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

### 5.1 Виды закономерностей изменения технического состояния транспортных средств

Процессы, происходящие в природе и технике, могут быть подразделены на две большие группы: процессы, описываемые функциональными зависимостями, и случайные (вероятностные, стохастические).

Для функциональных зависимостей характерна жесткая связь между функцией (зависимой переменной) и аргументом (независимой переменной величиной), когда определенному значению аргумента (аргументов) соответствует определенное значение функции. Например, зависимость пройденного пути автомобиля от скорости и времени движения.

Вероятностные процессы происходят под влиянием многих переменных факторов, значение которых часто неизвестно. Поэтому результаты вероятностного процесса могут принимать различные количественные значения, т.е. обнаруживать рассеивание или вариацию, являются случайными величинами и называются событиями. Например, наработка на отказ автомобиля или его агрегата является случайной величиной и зависит от ряда факторов: качества материалов деталей; точности обработки деталей; качества сборки; качества ТО и ремонта; квалификации персонала; условий эксплуатации; качества применяемых эксплуатационных материалов и т.п. Случайными величинами являются трудоемкость устранения конкретной неисправности, расход материалов, значение параметра технического состояния в определенных моменты времени и т.д.

Для разработки рекомендаций по рациональной эксплуатации, совершенствованию конструкции автомобилей необходима информация о закономерностях изменения их технического состояния.

К важнейшим закономерностям ТЭА относятся: изменение технического состояния автомобиля, агрегата, детали по времени работы или пробегу (наработке) автомобиля; рассеивание параметров технического состояния и других случайных величин, с которыми оперирует техническая эксплуатация, например, продолжительность выполнения ремонтных и профилактических работ; формирование суммарного потока отказов за весь срок службы автомобиля или группы автомобилей (процесс восстановления).

У значительной части агрегатов, узлов и деталей автомобилей процесс изменения технического состояния в зависимости от времени или пробега носит плавный, монотонный характер, приводящий в итоге к возникновению постепенных отказов. При этом характер зависимости может быть различным (рисунок 5.1). Проведенные исследования и накопленный опыт показывают, что в случае постепенных отказов изменение параметра технического состояния конкретного изделия или среднего значения для группы изделий аналитически достаточно хорошо может быть описано двумя видами функций:

– целой рациональной функцией  $n$ -го порядка

$$y = a_0 + a_1 l + a_2 l^2 + a_3 l^3 + \dots + a_n l^n, \quad (5.1)$$

где  $a_0$  — начальное значение параметра технического состояния;

$l$  — наработка, т.е. пробег или время работы изделия;

$a_1, a_2 \dots a_n$  — коэффициенты, определяющие характер и степень зависимости  $y$  от  $l$ ;

– или степенной функцией

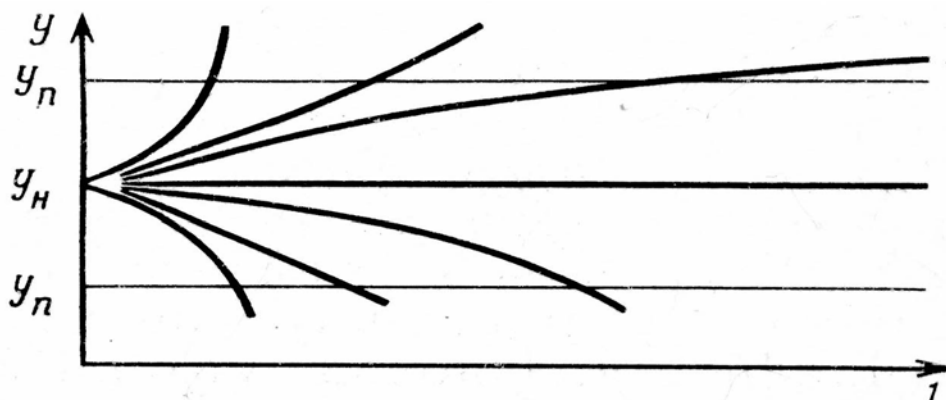
$$y = a_0 + a_1 l^b, \quad (5.2)$$

где  $a_1$  и  $b$  — коэффициенты, определяющие интенсивность и характер изменения параметра технического состояния.

В практических вычислениях по формуле (5.1), как правило, достаточно использовать члены до четвертого порядка. Таким образом, зная функцию  $y = \varphi(l)$  и предельное значение  $y_n$  параметра технического состояния, можно определить из уравнения  $l = \varphi(y)$  ресурс изделия. Достаточно часто закономерности изменения параметров (например, зазора между накладками и тормозными барабанами, свободного хода педали сцепления и др.) описываются линейными уравнениями вида

$$y = a_0 + a_1 l, \quad (5.3)$$

где  $a_1$  — интенсивность изменения параметра технического состояния.



$y_n, y_n$  — начальное и предельное значения параметра

Рисунок 5.1 — Возможные формы зависимости показателя технического состояния  $y$  от пробега  $l$

Ниже приведены характерные значения интенсивностей изменения параметров технического состояния ряда механизмов грузовых автомобилей:

1. Свободный ход педали, мм/1000 км:
  - сцепления ..... 0,5–0,6;
  - тормоза ..... 0,6–0,9.
2. Зазор между тормозными накладками и барабанами колес, мм/1000 км:
  - передних ..... 0,05– 0,06;
  - задних ..... 0,1–0,3.
3. Прогиб ремня привода водяного насоса, мм/1000 км ..... 0,3–0,6.

4. Суммарный угловой люфт, град/1000 км:

карданной передачи ..... 0,01–0,03;

главной передачи ..... 0,2–0,3.

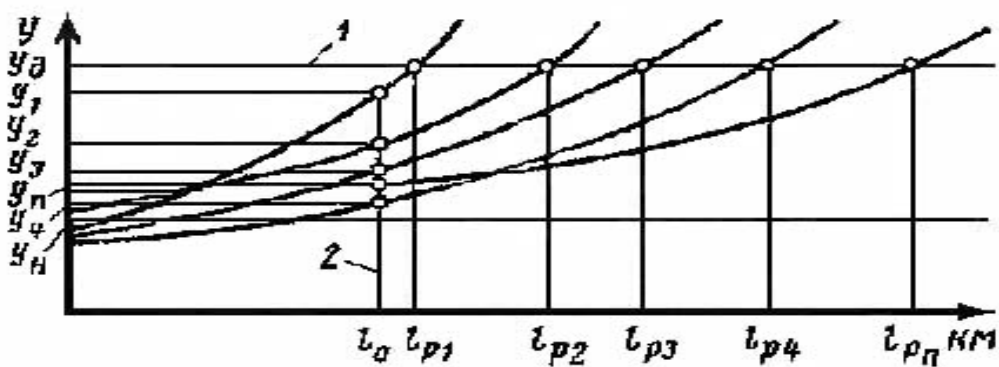
Закономерности данного вида характеризуют тенденцию изменения параметров технического состояния конструктивных элементов автомобиля, а также позволяют определить их наработки до момента достижения предельного или любого заданного состояния.

Изучение закономерностей случайных событий составляет одну из задач теории вероятностей, решение которой позволяет предвидеть эти события, и является важнейшей задачей теории надежности, которая имеет дело со случайными событиями — отказами и неисправностями.

Под влиянием условий эксплуатации, квалификации персонала, неоднородности самих изделий и их начального состояния и других факторов интенсивность и характер изменения параметра технического состояния у разных изделий (автомобилей) будут различными. Поэтому если зафиксировать значение параметра, например, на уровне  $Y_D$  (рисунок 5.2), то моменты достижения этого состояния (ресурса)  $\ell_p$  у разных изделий будут различны, т.е. наработка на отказ будет случайной величиной и обнаруживает вариацию. В связи с этим теория надежности должна ответить на совершенно конкретный вопрос, как установить момент контроля и обслуживания автомобилей?

Если зафиксировать определенную наработку к моменту контроля и обслуживания автомобиля  $\ell_0$ , то неминуемы вариация показателя его технического состояния и, как следствие, вариация трудоемкости и продолжительности выполнения работ по восстановлению технического состояния. Поэтому важно знать, какую трудоемкость и продолжительность учитывать и нормировать при организации технического обслуживания и ремонта.

Решение поставленных вопросов, оценка надежности машин и выявление закономерности изменения их параметров возможно только статистическими методами.



1 — сечение случайного процесса по параметру  $Y$ ;

2 — то же, по наработке  $\ell$

Рисунок 5.2 — Вариация ресурса и технического состояния

Выше были рассмотрены два вида закономерностей: изменение параметров технического состояния автомобилей по времени или пробегу и вариации параметров технического состояния. Эти закономерности достаточно точно характеризуют надежность автомобилей и их конструктивных элементов, т. е. позволяют оценить среднюю наработку на отказ, вероятность отказа автомобиля при определенном пробеге, ресурс его агрегатов и др.

Для рациональной организации производства необходимо, кроме того, знать, сколько автомобилей с отказами данного вида будет поступать в зону ремонта в течение смены (недели, месяца), будет ли их количество постоянным или переменным и от каких факторов оно зависит, т. е. речь идет не только о надежности конкретного автомобиля, но и группы автомобилей, например, автомобилей данной модели, колонны, АТП. При отсутствии этих сведений нельзя рационально организовать производство, т. е. определить необходимое число рабочих, размеры производственных площадей, расход запасных частей и материалов.

Взаимосвязи между показателями надежности автомобилей и суммарным потоком отказов для группы автомобилей изучают с помощью закономерностей, которые характеризуют процесс восстановления — возникновения и устранения неисправностей изделий во времени.

Изучение закономерностей изменения параметров технического состояния автомобиля под влиянием различных факторов в процессе его эксплуатации необходимо для решения основных задач ТЭА. Знание этих закономерностей имеет существенное значение для разработки и эффективного применения научно обоснованных методов и нормативов поддержания автомобилей в технически исправном состоянии, т.е. управления их работоспособностью.

Как было показано выше, качество автомобилей и их элементов меняется по мере изменения наработки, которая является функцией от времени, а также при отклонении условий эксплуатации от стандартных. Впервые классификацию закономерностей изменения качества предложил Е.С.Кузнецов

В соответствии с ней выделены рассмотренные выше закономерности изменения технического состояния по пробегу или времени работы; закономерности рассеивания параметров технического состояния в зафиксированный момент, к определенному пробегу или сам факт наступления исследуемого события; закономерности возникновения и устранения отказов и неисправностей у совокупности автомобилей, агрегатов, механизмов.

Однако важнейший вид закономерностей — закономерности влияния условий эксплуатации на изменение качества автомобилей в приведенной классификации не отражены, хотя в той или иной степени они исследовались многими специалистами. Впервые методологию изучения этих закономерностей разработал Л.Г.Резник. Было доказано наличие у автомобилей свойства “приспособленность”, характеризующего способность выполнять заданные функции, сохраняя в пространстве значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих стандартным условиям использования.

В исследованиях было показано, что закономерность изменения показателей качества по наработке — идеализированный вариант реальной закономерности, справедливый только в том случае, когда условия эксплуатации и приращение наработки во времени постоянны.

Указанные закономерности изменения качества автомобилей в той или иной степени учтены при разработке нормативно-технической документации. В наибольшей степени они реализованы в “Положении о ТО и Р...”, а также в методике проектирования автотранспортных предприятий.

В одной из последних работ, посвященных этим проблемам, разработана концепция формирования реализуемого качества автомобилей при эксплуатации. Одно из положений данной концепции состоит в учете (при оценке изменения качества автомобиля) вариации интенсивности эксплуатации автомобилей во времени.

На основе этого положения выделены новые классы закономерностей. Закономерности изменения показателей качества во времени отделены от закономерностей изменения качества по наработке. Закономерности изменения потоков отказов по времени отделены от закономерностей изменения потоков отказов по наработке.

## **5.2 Основные понятия теории вероятностей и математической статистики**

Рассмотрим основные понятия теории вероятности.

Под опытом (экспериментом, испытанием) понимается некоторая воспроизводимая совокупность условий, в которых наблюдается то или другое явление, фиксируется тот или другой результат. Опыт не обязательно должен быть поставлен человеком; он может протекать независимо от него; при этом человек выступает в роли наблюдателя. От него зависит только решение, что именно наблюдать и какие параметры фиксировать.

Если результат опыта варьируется при его повторении, говорят об опыте со случайным исходом.

Случайным событием (или просто событием) называется всякий факт, который в опыте со случайным исходом может произойти или не произойти. События принято обозначать большими буквами латинского алфавита.

Любое случайное событие обладает какой-то степенью возможности, которую в принципе можно измерить численно. Чтобы сравнивать между собой события по степени их возможности, нужно связать с каждым из них какое-то число, которое тем больше, чем более возможно событие. Это число называется вероятностью события.

Сравнивая между собой по степени возможности различные события, можно считать более вероятными те события, которые происходят чаще. Менее вероятными — те, которые происходят реже; маловероятными — те, которые почти никогда не происходят.

В качестве единицы вероятности событий принята вероятность достоверного события, т. е. такого, которое в результате опыта неизбежно должно произойти.

Противоположностью достоверного события является невозможное событие — то, которое в данном опыте вообще не может произойти.

Если приписать достоверному событию вероятность, равную единице, а невозможному — равную нулю, то все другие события — возможные, но не достоверные, будут характеризоваться вероятностями, лежащими между нулем и единицей, составляющими какую-то долю единицы.

Таким образом, вероятность достоверного события лежит в пределах  $0 \leq P(A) \leq 1$ .

Несовместимыми называют два события, если появление одного из них исключает возможность появления другого. Например, отказ и работоспособность — это два события, которые не могут возникать одновременно.

Совместимыми называют два события, если появление одного из них не исключает возможность появления другого. Например, наличие повреждения объекта не исключает появление отказа.

Равновозможными называют несколько возможных событий, появление которых в результате испытаний одинаково возможно.

Независимыми считают такие события, появление которых не зависит от того, какое событие произошло перед этим (например, появление независимого отказа).

Очень большую роль в применении вероятностных методов играют практически достоверные и практически невозможные события.

Практически достоверным называется событие, вероятность которого не в точности равна единице, но очень близка к единице:  $P(A) \approx 1$ .

Событие  $A$  называется практически невозможным, если его вероятность не в точности равна нулю, но очень близка к нулю (например, замерзание воды в системе охлаждения при температуре выше  $0\text{C}^\circ$ ):  $P(A) \approx 0$ .

Введем новое важное понятие: противоположное событие. Противоположным событию  $A$  называется событие  $\bar{A}$ , состоящее в непоявлении события  $A$ .

Если какое-то событие  $A$  практически невозможно, то противоположное ему  $\bar{A}$  практически достоверно, и наоборот.

Практически невозможные (и сопутствующие им практически достоверные) события играют большую роль в теории вероятностей: на них основана вся ее познавательная ценность. Ни один прогноз в области случайных явлений не является и не может являться полностью достоверным; он может быть только практически достоверным, т. е. осуществляться с очень большой вероятностью.

В основе применения всех выводов и рекомендаций, получаемых с помощью теории вероятностей, лежит принцип практической уверенности, который может быть сформулирован следующим образом:

— если вероятность события  $A$  в данном опыте весьма мала, то (при однократном выполнении опыта) можно вести себя так, как будто событие  $A$  вообще невозможно, т. е. не рассчитывать на его появление.

В повседневной жизни мы постоянно (хотя и бессознательно) пользуемся этим принципом. Например, выезжая куда-то на такси, мы не рассчитываем на возможность погибнуть в дорожной катастрофе, хотя некоторая (весьма малая) вероятность такого события все же имеется.

Обратим внимание на слова “при однократном выполнении опыта” в формулировке принципа практической уверенности. Дело в том, что производя много опытов, в каждом из которых вероятность события  $A$  ничтожно мала, мы повышаем вероятность того, что событие  $A$  произойдет хотя бы один раз в массе опытов.

Например, пусть агрегат состоит из большого числа  $N$  элементов. Каждый из них отказывает (выходит из строя) с ничтожно малой вероятностью. Но за счет того, что элементов очень много, вероятность того, что откажет хотя бы один из них, перестает быть близкой к нулю.

Насколько мала, должна быть вероятность события, чтобы его можно было считать практически невозможным?

Ответ на этот вопрос в каждом отдельном случае решается из практических соображений, в соответствии с той важностью, которую имеет желаемый результат опыта. Чем опаснее возможная ошибка предсказания, тем ближе к нулю должна быть вероятность события, чтобы его считать практически невозможным.

Например, когда мы, на основе вероятностных расчетов, предсказываем, что средний результат  $N$  взвешиваний не отклонится от истинного веса тела больше, чем на заданную величину  $\varepsilon$ , а вероятность того, что отклонение будет больше  $\varepsilon$ , равна 0,01, мы еще можем примириться с этим и считать событие  $A$  — “ошибка больше  $\varepsilon$ ” — практически невозможным. Чем мы в данном случае рискуем? Легкой неправильностью предсказания.

Совершенно другое дело — если вероятность взрыва космической ракеты при ее запуске равна тем же 0,01. Риск велик, велика ответственность; в таких условиях, во что бы то ни стало надо добиваться “вероятности неудачи”, на несколько порядков меньшей.

Размер допустимой “вероятности риска” всегда назначается исследователем, исходя из степени опасности риска. Выбирается он более или менее произвольно. Поэтому на всех прогнозах, осуществляемых методами теории вероятностей, всегда лежит отпечаток “начального произвола”, связанного с выбором достаточно малой “вероятности риска”, — вероятности того, что прогноз не оправдается. Это обстоятельство отнюдь не снижает ценности вероятностных методов исследования. “Ориентировочный прогноз” все же лучше, чем “никакой прогноз”, который вытекал бы из требования, чтобы “вероятность риска” была в точности равна нулю.

Полная группа событий. Несколько событий, из которых при каждом испытании наступит хотя бы одно, образуют полную группу событий. Полная группа событий всегда является группой таких событий, из которых, по

меньшей мере, два являются несовместными, т.е. такими, что появление одного события исключает возможность появления другого.

Понятие вероятности события с самого начала тесно увязывается с понятием его частоты. Поэтому введем одно из важнейших понятий теории вероятностей — понятие частоты случайного события.

Если производится серия из  $n$  опытов, в каждом из которых может появиться или не появиться событие  $A$ , то частотой события  $A$  в данной серии опытов называется отношение числа опытов, в которых появилось событие  $A$ , к общему числу  $n$  произведенных опытов.

Частоту события часто называют его статистической вероятностью (в отличие от ранее введенной “математической” вероятности).

Подчеркнем, что для вычисления частоты события недостаточно знать условия опыта, нужно еще располагать каким-то массивом статистических данных. Частота — характеристика опытная, экспериментальная.

Частоту (статистическую вероятность) события  $A$  принято обозначать знаком  $P(A)$ .

Согласно определению, частота события  $A$  вычисляется по формуле:

$$P(A) = \frac{M_A}{n}, \quad (5.4)$$

где  $n$  — число произведенных опытов;

$M_A$  — число опытов, в которых событие  $A$  появилось.

Одним из важнейших понятий теории вероятности является понятие случайной величины.

Случайная величина — это величина, которая в результате опыта со случайным исходом может принимать различные значения, причем заранее неизвестно какие (например, наработка на отказ, трудоемкость ремонта, продолжительность простоя в ремонте, время безотказной работы, число отказов к некоторому моменту времени и т. д.).

Все случайные величины подразделяются на непрерывные и дискретные.

Случайная непрерывная величина на некотором интервале наработки или времени может принимать несчетное множество значений. Примерами случайных непрерывных величин являются: время восстановления, время простоя, трудоемкость работ и др.

Случайная дискретная величина в определенном интервале наработки или времени может принимать только счетное количество значений. Примеры: число неисправных элементов в некоторой партии машин, число отказов, возникающих в течение заданного интервала наработки и др.

### **Характеристики случайных величин**

Введем новое, очень важное понятие теории вероятностей — закон распределения.



**Законом распределения** случайной величины называется любое правило (таблица, функция), позволяющее находить вероятности всевозможных событий, связанных со случайной величиной (например, вероятность того, что она примет какое-то значение или попадет на какой-то интервал).

Если случайная величина  $X$  имеет данный закон распределения, то про нее говорят, что она “распределена” по этому закону (или же “подчинена” этому закону распределения).

Наиболее простую форму можно придать закону распределения дискретной случайной величины. Для этого достаточно перечислить возможные значения случайной величины  $X$ :  $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$  и соответствующие им вероятности.

**Рядом распределения** дискретной случайной величины  $X$  называется таблица, в верхней строке которой перечислены в порядке возрастания все возможные значения случайной величины  $X$ ; а в нижней — вероятности этих значений:  $p_1, p_2, \dots, p_n, \dots$ , где  $p_i = P\{X = x_i\}$  — вероятность того, что в результате опыта случайная величина  $X$  примет значение  $x_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n, \dots$ ).

Ряд распределения случайной величины  $X$  можно записать в виде таблицы:

$X$ :	$x_1$	$x_2$	$\dots$	$x_n$	$\dots$
	$p_1$	$p_2$	$\dots$	$p_n$	$\dots$

(5.5)

Так как события  $\{X = x_1\}, \{X = x_2\}, \dots$  несовместны и образуют полную группу, то сумма всех вероятностей, стоящих в нижней строке ряда (5.5), равна единице:

$$\sum_i p_i = 1. \tag{5.6}$$

Эта единица как-то распределена между значениями случайной величины (отсюда и термин “распределение”).

Графическое изображение ряда распределения называется **многоугольником распределения**. Строится он так: для каждого возможного значения случайной величины восстанавливается перпендикуляр к оси абсцисс, на котором откладывается вероятность данного значения случайной величины. Полученные точки для наглядности (и только для наглядности!) соединяются отрезками прямых (рисунок 5.3).

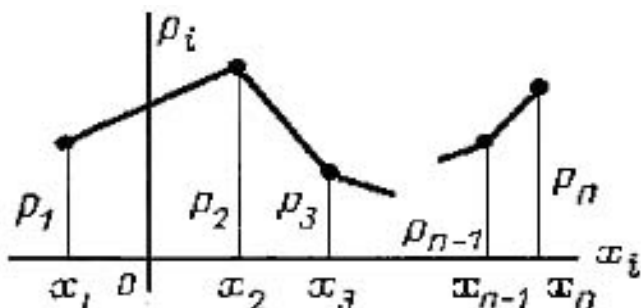


Рисунок 5.3 — Геометрическая интерпретация распределения случайной величины

Кроме геометрической интерпретации распределения дискретной случайной величины, часто оказывается полезной и ее механическая интерпретация. Это - ряд материальных точек на оси абсцисс, имеющих абсциссы  $x_1, x_2, \dots, x_i, \dots$  и, соответственно, массы  $p_1, p_2, \dots, p_i, \dots$ , в сумме образующие единицу (рисунок 5.4).

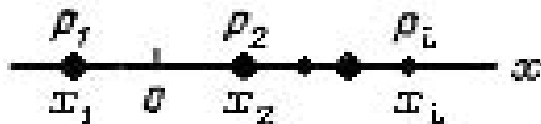


Рисунок 5.4 — Механическая интерпретация распределения случайной величины

### Функция распределения случайной величины и ее свойства

Ряд распределения (и, соответственно, многоугольник распределения) могут быть построены только для дискретной случайной величины (для недискретной они не могут быть построены хотя бы потому, что множество возможных значений такой случайной величины несчетно, и их нельзя перечислить в верхней строке таблицы). Наиболее общей формой закона распределения, пригодной для всех случайных величин (как дискретных, так и недискретных), является функция распределения.

Функцией распределения случайной величины  $X$  называется вероятность того, что она примет значение меньше, чем заданное  $x$ :

$$F(x) = P\{X < x\}. \quad (5.7)$$

Геометрически функция распределения интерпретируется как вероятность того, что случайная точка  $X$  попадет левее заданной точки  $x$  (на рисунке 5.5) соответствующая часть оси абсцисс, т. е. множество точек, представляющее событие ( $X < x$ ), отмечена штриховкой).

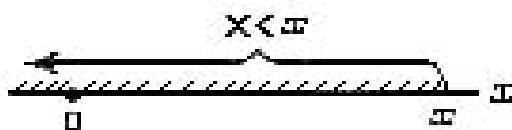


Рисунок 5.5 — Геометрическая интерпретация функции распределения

Функцию распределения  $F(x)$  иногда называют также интегральной функцией распределения. Функцию распределения  $F(x)$  — самая универсальная характеристика случайной величины. Она существует для всех случайных величин: как дискретных, так и непрерывных. Функция распределения полностью характеризует случайную величину с вероятностной точки зрения, т.е. является одной из форм закона распределения.

## Основные свойства функции распределения

1. Функция  $F(x)$  — всегда неотрицательна, т.е.  $F(x) \geq 0$  для всех  $x$ .
2.  $F(x)$  — неубывающая функция своего аргумента, т. е. при  $x_2 > x_1$   $F(x_2) > F(x_1)$ .
3. Значения функции заключены между 0 и 1:  $0 \leq F(x) \leq 1$ .
4.  $F(+\infty) = 1$ .  $F(-\infty) = 0$ .

Зная функцию распределения  $F(x)$  случайной величины  $X$ , можно вычислять вероятности любых событий, с ней связанных.

Выражение вероятности попадания на участок через функцию распределения

$$P(x < X < x + \Delta x) = F(x + \Delta) - F(x) \quad (5.8)$$

т. е. вероятность того, что значение случайной величины  $X$  заключено в интервале от  $x$  до  $x + \Delta x$  и равно разности значений функции распределения, вычисленных в точках  $x$  и  $x + \Delta x$ .

Формула (5.5) справедлива для любых случайных величин — как дискретных, так и недискретных.

## Плотность распределения

Рассмотрим дискретную случайную величину  $X$ , имеющую очень много возможных значений, расположенных очень близко друг к другу на числовой оси, и построим ее функцию распределения (рисунок 5.6). По мере увеличения числа возможных значений и уменьшения интервалов между ними число скачков становится все больше, а сами скачки — все меньше.

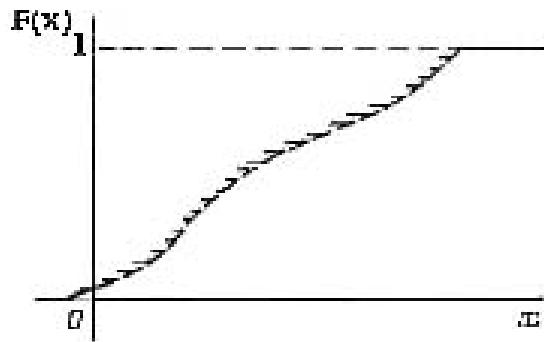


Рисунок 5.6 — Функция распределения дискретной случайной величины

Ступенчатая линия приближается к плавной, непрерывной (см. пунктирную линию на рисунке 5.6). Естественной идеализацией такого положения является случай, когда функция  $F(x)$  непрерывна.

Условимся называть случайную величину  $X$  непрерывной, если ее функция распределения не только непрерывна в любой точке, но и дифференцируема всюду, кроме, может быть, отдельных точек, где она терпит излом (рисунок 5.7).

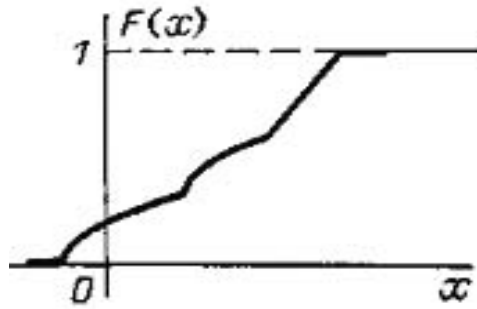


Рисунок 5.7 — Функция распределения непрерывной случайной величины

В качестве закона распределения, имеющего смысл только для непрерывных случайных величин, введем понятие плотности распределения или плотности вероятности.

Вероятность попадания с. в.  $X$  на участок  $(x, x + \Delta x)$  равна приращению функции распределения на этом участке; поэтому средняя плотность на участке от  $x$  до  $x + \Delta x$  будет равна

$$\frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x}. \quad (5.9)$$

Переходя к пределу при  $\Delta x \rightarrow 0$ , получим плотность в точке  $x$ :

$$\lim_{\Delta x \rightarrow 0} \frac{F(x + \Delta x) - F(x)}{\Delta x} = F'(x), \quad (5.10)$$

а это — не что иное, как производная функции распределения.

Таким образом, плотностью распределения (или плотностью вероятности, иногда просто плотностью) непрерывной случайной величины  $X$  в точке  $x$  называется производная ее функции распределения в этой точке. Обозначим ее  $f(x)$ :

$$f(x) = F'(x) = \frac{d}{dx} F(x). \quad (5.11)$$

Так же, как и аргумент функции распределения, аргумент плотности может быть обозначен любой буквой;  $f(x)$  и  $f(t)$  — одна и та же функция, только с по-разному обозначенным аргументом.

Плотность распределения  $f(x)$ , как и функция распределения  $F(x)$ , является одной из форм закона распределения; в отличие от функции распределения, эта форма не универсальна: она существует только для непрерывных случайных величин.

График плотности распределения  $f(x)$  называется кривой распределения (рисунок 5.8).

Введем важное понятие: элемент вероятности. Рассмотрим непрерывную с. в.  $X$  с плотностью  $f(x)$  и элементарный участок  $dx$ , примыкающий к точке  $x$  (рисунок 5.8).

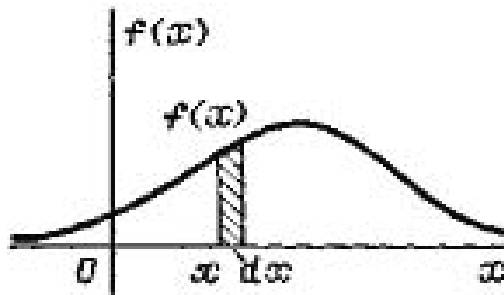


Рисунок 5.8— Плотность распределения непрерывной случайной величины

Вероятность попадания с. в.  $X$  на этот участок  $dx$  (с точностью до бесконечно малых высших порядков) равна  $f(x)dx$ . Величина  $f(x)dx$  называется *элементом вероятности* для точки  $x$ . Геометрически элемент вероятности приближенно равен площади элементарного прямоугольника, опирающегося на отрезок  $dx$ , примыкающий к точке  $x$  (заштрихована на рисунке 5.8). Выразим вероятность попадания с. в.  $X$  на участок от  $x_1$  до  $x_2$  (рисунок 5.9). Очевидно, вероятность попадания с.в.  $X$  на участок  $(x_1, x_2)$  равна сумме элементов вероятности на всем этом участке, т. е. интегралу:

$$P(x_1 < X < x_2) = \int_{x_1}^{x_2} f(x)dx . \quad (5.12)$$

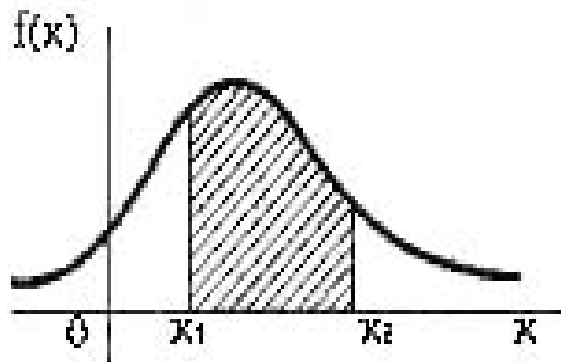


Рисунок 5.9 — Плотность распределения непрерывной случайной величины

В геометрической интерпретации эта вероятность равна площади, ограниченной сверху кривой распределения и опирающейся на участок  $(x_1, x_2)$  (заштрихована на рисунке 5.9).

Формула (5.12) сразу же дает возможность выразить функцию распределения  $F(x)$  через плотность распределения  $f(x)$ . Действительно,

$$F(x) = P(X < x) = P(-\infty < X < x) = \int_{-\infty}^x f(x)dx . \quad (5.13)$$

В геометрической интерпретации функция распределения равна площади, ограниченной сверху кривой распределения и лежащей левее точки  $x$  (на рисунке 5.10 эта площадь заштрихована).

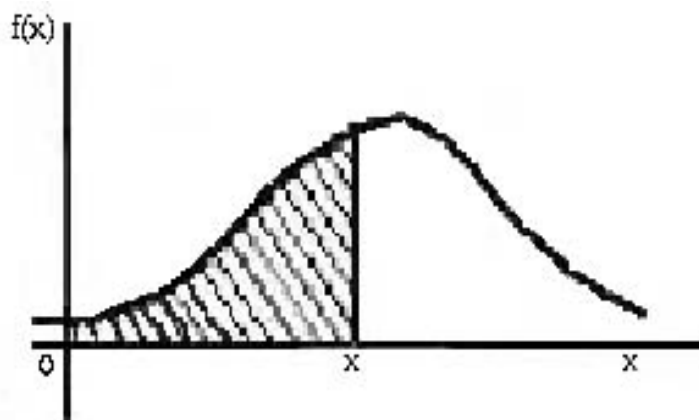


Рисунок 5.10 — Плотность распределения случайной величины

Укажем основные свойства плотности распределения  $f(x)$ :

1. Плотность распределения — неотрицательная функция:

$$f(x) > 0. \quad (5.14)$$

Это свойство вытекает из определения  $f(x)$ ; производная неубывающей функции отрицательной быть не может.

2. Интеграл в бесконечных пределах от плотности распределения равен единице:

$$\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx = 1. \quad (5.15)$$

Это свойство следует из формулы (5.13), если положить в ней  $x = \infty$  и учесть, что  $F(+\infty) = 1$ .

Геометрически основные свойства (5.14) и (5.15) плотности  $f(x)$  интерпретируются как:

- 1) вся кривая распределения лежит не ниже оси абсцисс;
- 2) полная площадь, ограниченная кривой распределения и осью абсцисс, равна единице.

Выясним размерности функции распределения  $F(x)$  и плотности  $f(x)$ . Функция распределения  $F(x) = P(X < x)$ , как всякая вероятность, размерности не имеет. Размерность плотности распределения обратна размерности случайной величины  $X$ .

### Числовые характеристики случайных величин

Выше мы познакомились с рядом полных, исчерпывающих характеристик случайных величин — а именно законов распределения. Каждый закон распределения исчерпывающим образом описывает распределение вероятностей и дает возможность вычислять вероятности любых событий, связанных со случайной величиной. Универсальным видом закона распределения, пригодным для любой случайной величины — дискретной, непрерывной или смешанной, является функция распределения

$$F(x) = P(X < x). \quad (5.16)$$

Кроме этого универсального, существуют еще и частные виды законов распределения: ряд распределения (только для дискретных случайных величин)  $p_i = P(X = x_i)$ ,  $i = 1, \dots, n, \dots$  и плотность распределения  $f(x) = F'(x)$  (только для непрерывных случайных величин).

Каждый закон распределения представляет собой некоторую функцию, указание которой полностью описывает случайную величину с вероятностной точки зрения.

Однако во многих вопросах практики нет надобности в таком полном описании; зачастую достаточно бывает указать только отдельные числовые параметры, характеризующие существенные черты распределения; например, какое-то среднее, вокруг которого разбросаны значения случайной величины; какое-то число, характеризующее величину этого разброса (так сказать, “степень случайности” случайной величины), и т. п. Эти числа, призванные выразить в сжатой форме наиболее существенные черты распределения, называются числовыми характеристиками случайной величины.

Среди числовых характеристик случайных величин, прежде всего, рассмотрим характеристики положения, фиксирующие положение случайной величины на числовой оси, т. е. некоторое среднее, ориентировочное значение с. в., около которого группируются ее возможные значения.

Из характеристик положения в теории вероятностей наибольшую роль играет математическое ожидание, которое иногда называют просто средним значением случайной величины.

Математическим ожиданием дискретной случайной величины называется сумма произведений всех возможных ее значений на вероятности этих значений.

$$M[X] = \sum_{i=1}^n x_i P_i. \quad (5.17)$$

Для случая, когда число возможных значений дискретной с. в.  $X$  не конечно, а бесконечно (образует счетное множество), формула для математического ожидания остается той же, только в верхнем пределе суммы  $n$  заменяется на бесконечность:

$$M[X] = \sum_{i=1}^{\infty} x_i P_i. \quad (5.18)$$

Для непрерывной с. в.  $X$  с плотностью  $f(x)$

$$M[X] = \int_{-\infty}^{\infty} x f(x) dx. \quad (5.19)$$

Среднее арифметическое значение — это частное от деления суммы полученных из опытов значений случайной величины на число слагаемых этой суммы, т. е. на число опытов.

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (5.20)$$

где  $\bar{x}$  — среднее арифметическое случайной величины;

$n$  — число проведенных опытов;

$x_1, x_2, \dots, x_N$  — отдельные значения случайной величины.

При увеличении числа опытов  $n$  частота события  $p_i^*$  будет приближаться (сходиться по вероятности) к вероятности  $p_i$  этого события. Значит, и среднее арифметическое  $M^* [X]$  будет приближаться (сходиться по вероятности) к математическому ожиданию  $M [X]$  случайной величины  $X$ . Это значит, что при достаточно большом числе опытов можно среднее арифметическое наблюдаемых значений с. в.  $X$  принимать приближенно равным ее математическому ожиданию.

Указанная выше связь между математическим ожиданием и средним арифметическим составляет содержание одной из предельных теорем теории вероятностей (так называемого закона больших чисел).

Выше мы ввели обозначение  $M [X]$  для математического ожидания с. в.  $X$ . Иногда бывает удобнее обозначить его одной буквой  $m_x$ .

Модой случайной величины называется ее наиболее вероятное значение (то, для которого вероятность  $p_i$  или плотность распределения  $f(x)$  достигает максимума).

На рисунке 5.11 показана кривая распределения непрерывной с. в.  $X$ ; точка, в которой плотность  $f(x)$  достигает максимума, и есть мода  $M_x$ .

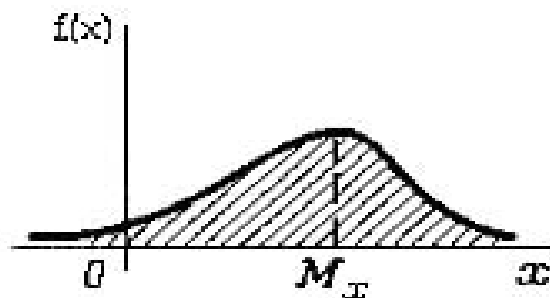


Рисунок 5.11 — Мода случайной величины

Иногда применяется еще одна характеристика положения — медиана случайной величины  $X$ , которую мы обозначим  $x_m$ . Эта характеристика применяется, как правило, только для непрерывных с. в. Медианой непрерывной случайной величины  $X$  называется такое ее значение  $x_m$ , для которого

$$P(X < x_m) = P(X > x_m) = 1/2,$$

т. е. одинаково вероятно, окажется ли с. в.  $A$  меньше  $x_m$  или больше  $x_m$ .

Геометрически медиана — это абсцисса той точки на оси  $Ox$ , для которой площади, лежащие слева и справа от нее, одинаковы и равны  $1/2$ .

В случае симметричного распределения (имеющего моду) математическое ожидание (если оно существует), мода и медиана совпадают.



Размах рассеивания случайной величины — это разность между максимальным и минимальным ее значениями, полученными в результате испытаний.

$$R = x_{\max} - x_{\min} . \quad (5.21)$$

При малом числе наблюдений ( $N < 10$ ) размах служит мерой рассеивания.

Дисперсия является одной из основных характеристик рассеивания случайной величины около ее математического ожидания. Само слово “дисперсия” означает “рассеивание”. Величина ее определяется по формуле:

$$D = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 . \quad (5.22)$$

Дисперсия имеет размерность квадрата случайной величины, что не всегда удобно. Для наглядности в качестве характеристики рассеивания удобнее пользоваться числом, размерность которого совпадает с размерностью случайной величины. Для этого из дисперсии извлекают квадратный корень. Полученная величина называется средним квадратическим отклонением (стандартным отклонением).

Среднее квадратическое отклонение определяется:

$$\sigma_x = \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}} . \quad (5.23)$$

Для неотрицательной случайной величины  $X$  в качестве характеристики ее рассеивания иногда применяется коэффициент вариации, равный отношению стандартного отклонения к математическому ожиданию:

$$v_x = \frac{\sigma}{m} . \quad (5.24)$$

Введение коэффициента вариации необходимо для сравнения рассеивания величин, имеющих разную размерность. Для этой цели среднее квадратическое отклонение непригодно, так как имеет размерность случайной величины.

В технической эксплуатации автомобилей различают случайные величины с малой ( $v \leq 0,1$ ), средней ( $0,1 < v \leq 0,33$ ) и большой вариацией ( $v > 0,33$ ).

### 5.3 Модели законов распределения случайных величин

Случайная величина, представленная совокупностью отдельных значений, может иметь тот или иной закон распределения.

Законом распределения случайной величины называется соотношение, устанавливающее связь между возможными значениями случайной величины и соответствующими им вероятностями.

В теории и практике надежности чаще всего используются следующие законы распределения: нормальный (Гаусса), логарифмически нормальный, Вейбулла, экспоненциальный (показательный) и др.

### 5.3.1 Нормальное распределение

Нормальный закон распределения (иногда называемый законом Гаусса) играет исключительно важную роль в теории вероятностей и занимает среди других законов распределения особое положение. Случайная величина  $X$  распределена по нормальному закону с параметрами  $m$ ,  $\sigma$  если ее плотность распределения имеет вид:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}. \quad (5.25)$$

Другой весьма удобный способ записи показательной функции:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}\right). \quad (5.26)$$

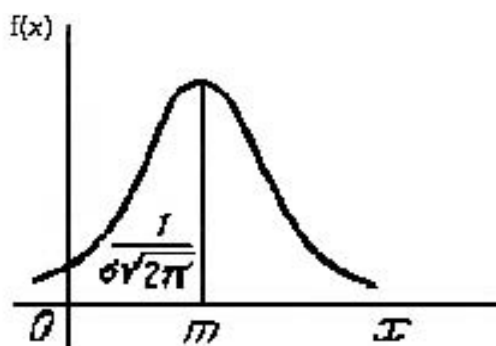


Рисунок 5.12 — Нормальное распределение случайной величины

Кривая нормального распределения имеет симметричный, холмообразный вид (рисунок 5.12).

При изменении  $m$  кривая  $f(x)$ , не изменяя своей формы, просто будет смещаться вдоль оси абсцисс. Изменение  $\sigma$  равносильно изменению масштаба кривой по обеим осям; например, при удвоении  $\sigma$  масштаб по оси абсцисс удвоится, а по оси ординат — уменьшится в два раза. Для иллюстрации на рисунке 5.13 показаны три нормальные кривые распределений; для всех трех  $m = 0$ ; для кривой (I)  $\sigma = 1$ , для кривой (II)  $\sigma = 2,5$ , для кривой (III)  $\sigma = 1/2$ . Как видно из рисунка, при увеличении  $\sigma$  кривая распределения становится более плоской, растягивается вдоль оси абсцисс; при уменьшении  $\sigma$  — вытягивается вверх, одновременно сжимаясь с боков (в обоих случаях ограничивая единичную площадь).

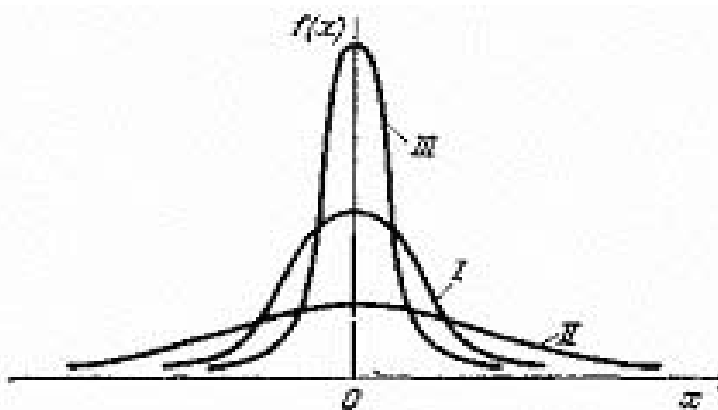


Рисунок 5.13 — Изменение кривой распределения при изменении параметров  $m$  и  $\sigma$

Интегральная функция распределения имеет вид:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} dx . \quad (5.27)$$

Данное распределение возникает в тех случаях, когда на протекание процесса и его результат влияет достаточно большое количество различных факторов, не связанных между собой, и они все оказывают одинаковое и достаточно слабое влияние по сравнению с суммой. Этот закон распределения характерен для постепенных отказов. Например, по нормальному закону распределены наработки машин до капитального ремонта, время ремонта и трудоемкость обслуживания.

Нормальное распределение обладает рядом свойств:

- 1) кривая распределения симметрична относительно точки  $x = m$ , через которую проходит ордината;
- 2) максимальная ордината кривой, равная  $1/(\sigma\sqrt{2\pi})$ , достигается при  $x = m$ ;
- 3) по мере удаления от точки  $m$  плотность  $f(x)$  падает, и при  $|x| \rightarrow \infty$  кривая распределения асимптотически приближается к оси абсцисс;
- 4) в интервале от  $-\sigma$  до  $+\sigma$  заключено примерно 68,3% всей площади под кривой, от  $-2\sigma$  до  $+2\sigma$  — 95,5% и от  $-3\sigma$  до  $+3\sigma$  — 99,7%.

Из последнего свойства видно, что рассеивание случайной величины с незначительной погрешностью укладывается на интервале  $m \pm 3\sigma$ . Поэтому, зная  $\sigma$  и  $m$  случайной величины, можно приблизительно указать интервал ее практически возможных значений. Такой ориентировочный способ оценки диапазона возможных значений случайной величины называется правилом “трех сигм”. Используя это правило, можно приближенно определить среднее квадратичное отклонение случайной величины. Для этого необходимо поделить разность между максимальным и минимальным значениями случайной величины на шесть.

Если математическое ожидание  $m = 0$ , а среднее квадратическое отклонение  $\sigma = 1$ , то нормальное распределение называют центрированным и нормированным (рисунок 5.13).

Под центрированным, таким образом, понимается перенос центра группировки в начало координат. Для упрощения вычислений при решении практических задач надежности величина  $x$  заменяется на величину  $z = (x - m) / \sigma$ . Такая замена переменных называется нормированием. При аргументе, выраженном в этом случае в средних квадратических отклонениях, плотность распределения вероятности нормированного распределения табулирована и имеет вид:

$$f_0(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}}. \quad (5.28)$$

### 5.3.2 Логарифмически–нормальное распределение

Непрерывная случайная величина  $X$  считается распределенной по логарифмически - нормальному закону, если натуральный логарифм этой величины  $\ln(x)$  подчинен нормальному закону распределения.

Плотность распределения вероятности случайной величины:

$$f(x) = \frac{1}{x \sigma_l \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\ln x - y_0)^2}{2\sigma_l^2}}, \quad (5.29)$$

где  $\sigma_l$  — среднее квадратическое отклонение логарифма случайной величины;

$y_0$  — математическое ожидание логарифма случайной величины.

Параметры  $\sigma_l$  и  $y_0$  связаны с математическим ожиданием  $m$  и средним квадратическим отклонением следующими соотношениями:

$$m = e^{y_0 + \sigma_l^2 / 2}; \quad (5.30)$$

$$\sigma = \sqrt{e^{2y_0 + \sigma_l^2} (e^{\sigma_l^2} - 1)}. \quad (5.31)$$

Логарифмически–нормальное распределение формируется тогда на протекание исследуемого процесса и его результат влияет сравнительно большое количество случайных факторов, причем эти факторы взаимосвязаны и интенсивность действия их зависит от достигнутого случайной величиной состояния. Иногда этот закон в теории надежности называют моделью пропорционального эффекта.

В технической эксплуатации автомобилей этот закон (при  $\nu = 0,3 \dots 0,5$ ) характерен для описания процессов усталостных разрушений, коррозии, наработки до ослабления крепежных соединений и в ряде других случаев.

### 5.3.3 Экспоненциальное распределение

Это распределение имеет большое практическое применение. Оно используется для описания отказов агрегатов и систем машин, работающих в тяжелых условиях под воздействием механических и температурных перегрузок, а также при рассмотрении внезапных отказов, когда явление износа и старения настолько слабо выражены, что ими можно пренебречь.

Непрерывная случайная величина  $X$  считается распределенной по экспоненциальному закону, если ее плотность распределения вероятности может быть определена соотношением:

$$f(x) = \begin{cases} \lambda e^{-\lambda x}, & x \geq 0; \\ 0, & x < 0, \end{cases} \quad (5.32)$$

где  $\lambda$  — параметр закона распределения.

Этот параметр связан с математическим ожиданием  $m$  выражением:

$$\lambda = \frac{1}{m}. \quad (5.33)$$

Для экспоненциального распределения математическое ожидание равно среднему квадратическому отклонению, т.е.  $m = \sigma$ . Поэтому коэффициент вариации равен единице.

Интегральная функция распределения:

$$F(x) = e^{-\lambda x} = e^{-\frac{x}{m}}. \quad (5.34)$$

Экспоненциальное распределение описывает время до момента появления одного события, когда события появляются независимо одно от другого с постепенной средней интенсивностью.

Этот закон характерен для распределения случайных величин, изменение которых обусловлено влиянием какого-то доминирующего фактора. Он используется при рассмотрении внезапных отказов деталей в тех случаях, когда явления изнашивания и усталости выражены настолько слабо, что ими можно пренебречь (например, наработка до отказа многих невосстанавливаемых изделий).

Если случайная величина  $X$  выражает наработку до отказа, то параметр  $\lambda$  представляет собой интенсивность отказов.

### 5.3.4 Распределение Вейбулла–Гнеденко

Данное распределение соответствует более общей статистической модели, чем предыдущие распределения, охватывая различные законы изменения случайной величины с течением времени.

Плотность распределения вероятности описывается дифференциальной функцией:

$$f(x) = \frac{\vartheta}{a} \left(\frac{x}{a}\right)^{\vartheta-1} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^\vartheta\right], \quad (5.35)$$

где  $a$  — параметр масштаба;  
 $\vartheta$  — параметр формы.

Математическое ожидание  $m = ak_\vartheta$ ,

где  $k_\vartheta = \Gamma\left(1 + \frac{1}{\vartheta}\right)$ ;

$\Gamma$  — гамма-функция.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = a \cdot \rho_\vartheta, \quad (5.36)$$

где  $\rho_\vartheta = \sqrt{\Gamma\left(1 + \frac{2}{\vartheta}\right) - k_\vartheta^2}$ .

Коэффициент вариации случайной величины  $X$  определяется:

$$V = \frac{\sigma}{m} = \frac{a\rho_\vartheta}{ak_\vartheta}. \quad (5.37)$$

Если имеется наработка  $x_0$  в течение которой отказы не наступают, то

$$f(x) = \frac{\vartheta}{a} \left(\frac{x - x_0}{a}\right)^{\vartheta-1} \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{a}\right)^\vartheta\right]. \quad (5.38)$$

Интегральная функция

$$F(x) = \exp\left[-\left(\frac{x - x_0}{a}\right)^\vartheta\right]. \quad (5.39)$$

Значение параметра  $\vartheta$  зависит от коэффициента вариации и определяется по таблицам, расчетом или графоаналитическим путем. Величина его влияет на форму дифференциальной кривой.

При  $\vartheta=1$  распределение Вейбулла преобразуется в экспоненциальное, при  $\vartheta=2,5 - 3,5$  и  $\nu=0,3 - 0,4$  — приближается к нормальному. Распределение Вейбулла широко применяется при расчете показателей надежности, в частности, при исследовании прочности и долговечности деталей. Этому закону хорошо подчиняются распределение предела упругости ряда металлов, характеристики прочности и усталостной долговечности деталей (подшипники качения, напряженные оси и валы и др.).

Знание законов распределения случайных величин позволяет более точно планировать моменты проведения и трудоемкость работ ТО и ремонта,

определять необходимое количество запасных частей и решать другие технологические и организационные вопросы.

Данный закон проявляется в модели так называемого “слабого звена”. Если система состоит из группы независимых элементов, отказ каждого из которых приводит к отказу всей системы. Например, распределение ресурса подшипника качения, который ограничивается одним из любых его элементов: шарик или ролик, сепаратор и т.д.

Общим для этих примеров является то, что разрушение указанных изделий происходит в разных местах и при разной наработке, однако ресурс изделия в целом определяется наиболее слабым его участком.

По аналогичной схеме происходит регулирование тепловых зазоров клапанного механизма газораспределительного механизма. Некоторые изделия при анализе модели отказа могут быть рассмотрены как состоящие из нескольких элементов: прокладок, уплотнений, шлангов, трубопроводов, приводных ремней и т. д. Разрушение указанных изделий происходит в разных местах и при разной наработке, однако ресурс изделия в целом определяется наиболее слабым его участком, т. е.  $x_c = \min(x_1, x_2, \dots, x_3)$ .

Для этого закона в практических задачах ТЭА коэффициент вариации  $v=0,4-0,6$ .

Кроме перечисленных, встречаются и другие законы распределения: гамма-распределение, Релея, Пуассона и прочие, сведения о которых можно получить из специальной литературы. Важно при этом подчеркнуть, что понимание процессов изменения технического состояния, знание соответствующих законов распределения случайных величин серьезно облегчает и делает более точными инженерные расчеты, а также позволяет предвидеть вероятность наступления тех или иных событий. Например, если известно, что закон распределения нормальный, расчеты надежностных характеристик сводятся к использованию нормированной функции. Для экспоненциального закона распределения и закона распределения Вейбулла – Гнеденко также построены таблицы или простые линейные номограммы — “вероятностная бумага”.

Исходя из рассмотренных выше закономерностей в следующем разделе рассмотрим основные свойства надежности технических объектов и их показатели.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите числовые характеристики случайных величин.
2. Какими параметрами характеризуется нормальный закон распределения случайных величин?
3. Назовите основные законы распределения случайных величин.
4. Каким образом изменяется кривая распределения случайной величины при различных значениях коэффициентах вариации?

## 6 ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА НАДЕЖНОСТИ

**Надежность** (Reliability, dependability) — это свойство объекта сохранять во времени в установленных пределах значения всех параметров, характеризующих способность выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения, технического обслуживания, ремонтов, хранения и транспортирования.

Надежность является комплексным свойством, которое в зависимости от назначения объекта и условий его применения может включать безотказность, долговечность, ремонтпригодность и сохраняемость или определенное сочетание этих свойств как для объекта, так и для его частей.

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

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

**Показатель надежности** (Reliability measure) — количественная характеристика одного или нескольких свойств, составляющих надежность объекта.

Для оценки надежности используются следующие виды показателей.

**Единичный показатель надежности** (Simple reliability measure) — показатель надежности, характеризующий одно из свойств, составляющих надежность объекта.

**Комплексный показатель надежности** (Integrated reliability measure) — показатель надежности, характеризующий несколько свойств, составляющих надежность объекта.

**Расчетный показатель надежности** (Predicted reliability measure) — показатель надежности, значения которого определяются расчетным методом.

**Экспериментальный показатель надежности** (Assessed reliability measure) — показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным испытаний.

**Эксплуатационный показатель надежности** (Observed reliability measure) — показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется по данным эксплуатации.

**Экстраполированный показатель надежности** (Extrapolated reliability measure) — показатель надежности, точечная или интервальная оценка которого определяется на основании результатов расчетов, испытаний и (или) эксплуатационных данных путем экстраполяции на другую продолжительность экс-



плуатации и другие условия эксплуатации. Показатели могут быть статистическими (оценочными) или теоретическими (вероятностными).

Статистические оценки — это результат наблюдений за некоторой выборкой из  $N$  изделий. Если  $N \rightarrow \infty$ , то выборка приближается к генеральной совокупности, а статистические оценки — к вероятностным. Обычно стремятся выбрать количество объектов наблюдений  $N$  так, чтобы обеспечить приемлемую погрешность наблюдений. Данный вопрос изложен в следующем разделе.

Рассмотрим отдельные свойства надежности и их показатели.

### 6.1 Безотказность и ее показатели

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

Безотказность характеризуется единичными количественными показателями, номенклатура которых определена ГОСТ 27.002–89.

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

Статистически вероятность безотказной работы можно определить отношением числа автомобилей, безотказно проработавших до заданной наработки, к общему числу опытных автомобилей в партии:

$$P(l) = \frac{n(l)}{N} = \frac{N - m(l)}{N} = 1 - \frac{m(l)}{N}, \quad (6.1)$$

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

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

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

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

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

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

Если по опытным данным определена функция распределения случайной величины, то вероятность безотказной работы может быть определена по следующей формуле:

$$P(l) = \int_l^{\infty} f(l)dl. \quad (6.2)$$

Если плотность вероятности распределена по нормальному закону, то:

$$P(l) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_l^{\infty} e^{-\frac{(l-\bar{l})^2}{2\sigma^2}} dl. \quad (6.3)$$

Для распределения Вейбулла:

$$P(l) = \exp\left[-\left(\frac{l}{a}\right)^6\right]. \quad (6.4)$$

Для экспоненциального распределения:

$$P(l) = \exp[-\lambda l] = \exp\left[-\frac{l}{\bar{l}}\right]. \quad (6.5)$$

Для логарифмически нормального распределения:

$$P(l) = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \Phi\left(\frac{\ln l - \bar{l}}{\sigma}\right). \quad (6.6)$$

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

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

$$Q(l) = 1 - P(l) = F(l), \quad (6.7)$$

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

Статистически вероятность отказа можно определить следующим образом:

$$Q(L) = \frac{m(L)}{N}. \quad (6.8)$$

Используя вероятностные характеристики, вероятность отказа определяем по формуле:

$$Q(l) = \int_0^l f(l) dl = 1 - \int_l^{\infty} f(l) dl. \quad (6.9)$$

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

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

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

$$L_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N l_i, \quad (6.10)$$

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

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

Если определена функция распределения плотности вероятности  $f(l)$ , то:

$$L_1 = \int_0^{\infty} lf(l)dl = \int_0^{\infty} [1 - F(l)]dl, \quad (6.11)$$

где  $f(l)$  — плотность распределения наработки до отказа.

Для экспоненциального закона распределения:

$$L_1 = \int_0^{\infty} e^{-\lambda l} = \frac{1}{\lambda}. \quad (6.12)$$

Для логнормального закона распределения:

$$L_1 = e^{a + \frac{\sigma^2}{2}}, \quad (6.13)$$

где  $a$  — параметр распределения.

Для закона Вейбулла:

$$L_1 = a\Gamma\left(1 + \frac{1}{\nu}\right), \quad (6.14)$$

где  $\Gamma$  — гамма-функция.

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

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

$$L_2 = \frac{L}{M\{r(l)\}}, \quad (6.15)$$

где  $L$  — суммарная наработка;

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

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

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

$$L_2 = \frac{L}{r(l)}, \quad (6.16)$$

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

Формула (6.16) допускает обобщение на случай, когда объединяются данные, относящиеся к группе однотипных объектов, которые эксплуатируются в статистически однородных условиях. Если поток отказов — стационарный, то в формуле достаточно заменить  $L$  на сумму наработок всех наблюдаемых объектов и заменить  $r(l)$  на суммарное число отказов этих объектов.

**Гамма – процентная наработка до отказа** (Gamma – percentile operating time to failure) — это наработка, в течение которой отказ объекта не возникнет с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах. Обычно применяют  $\gamma = 80, 85, 90$  и  $95\%$ .

Гамма – процентная наработка до отказа  $l_\gamma$  определяется из уравнения:

$$1 - F(l_\gamma) = 1 - \int_0^{l_\gamma} f(l) dl = \frac{\gamma}{100}, \quad (6.17)$$

где  $F(l_\gamma)$  — функция распределения наработки до отказа.

**Интенсивность отказов** (Failure rate) — условная плотность вероятности возникновения отказа объекта, определяемая при условии, что до рассматриваемого момента времени отказ не возник.

Интенсивности отказов  $\lambda(t)$  определяют по формуле:

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)}. \quad (6.18)$$

Статистически интенсивность отказов определяется отношением разности между числом отказов  $n(t + \Delta t)$  на момент времени  $(t + \Delta t)$  и числом отказов  $n(t)$  на момент времени  $t$  к длительности интервала времени  $\Delta t$  и количеству работоспособных объектов на момент времени  $t$

$$\lambda(t) = \frac{n(t + \Delta t) - n(t)}{N(t)\Delta t} = \frac{N(t) - N(t + \Delta t)}{N(t)\Delta t}, \quad (6.19)$$

где  $N(t)$  и  $N(t + \Delta t)$  — число работоспособных элементов при наработках  $t$  и  $(t + \Delta t)$  соответственно.

**Параметр потока отказов** (Failure Intensity) — это отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за достаточно малую его наработку к значению этой наработки.

Рассмотрим эксплуатацию восстанавливаемых объектов. В начальный момент времени изделие начинает работу и работает до отказа. При отказе происходит восстановление объекта, и он вновь работает до следующего отказа и т. д. Моменты отказов формируют поток отказов.

В качестве характеристики потока отказов используют математическое ожидание числа отказов за время  $t$  называемой ведущей функцией потока отказов  $\Omega(t)$  (функция восстановления).

$$\Omega(t) = Mr(t). \quad (6.20)$$

Математическое ожидание числа отказов за интервал времени  $(t_1, t_2)$  определяют по формуле:

$$Mr(t_1, t_2) = \Omega(t_2) - \Omega(t_1), \quad (6.21)$$

где  $r(t_1, t_2)$  — число отказов за интервал времени  $(t_1, t_2)$ .

Как видно из рисунка 6.1, из-за вариации наработок на отказ происходит их смещение, а функции вероятностей первых и последующих отказов частично накладываются друг на друга. Например, для момента времени  $t_2$  общее количество отказов определяется суммированием вероятностей первого  $F_1(t_2)$  и второго  $F_2(t_2)$  отказов. Исходя из этого, ведущая функция потока отказов формируется следующим образом:

$$\Omega(t) = F_1(t_2) + F_2(t_2). \quad (6.22)$$

А в общем случае:

$$\Omega(t) = \sum_{k=1}^{\infty} F_k(t). \quad (6.23)$$

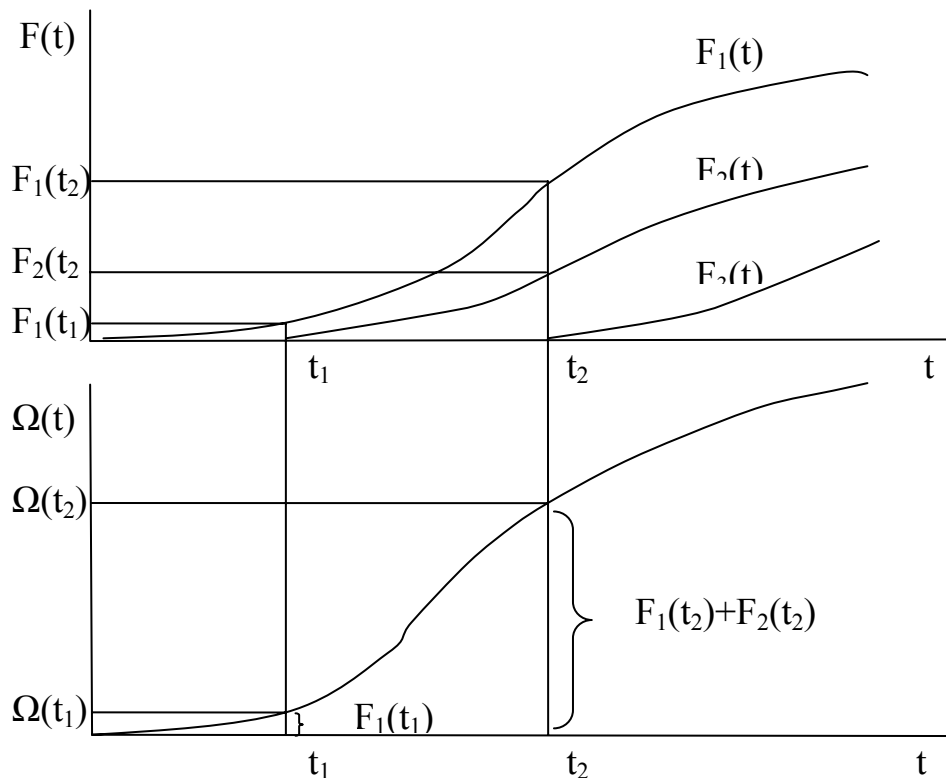


Рисунок 6.1 — Формирование ведущей функции потока отказов

Параметр потока отказов  $\omega(t)$  определяют по формуле:

$$\omega(t) = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{M\{r(t + \Delta t) - r(t)\}}{\Delta t} = \Omega'(t), \quad (6.24)$$

где  $\Delta t$  — малый отрезок наработки;

$r(t)$  — число отказов, наступивших от начального момента времени до достижения наработки  $t$ .

Разность  $r(t + \Delta t) - r(t)$  представляет собой число отказов на отрезке  $\Delta t$ .

Иными словами, параметр потоков отказов  $\omega(t)$  — это относительное количество отказов, приходящихся на единицу времени или пробега одного изделия.

**Осредненный параметр потока отказов (Mean failure Intensity)** — это отношение математического ожидания числа отказов восстанавливаемого объекта за конечную наработку к значению этой наработки.

## 6.2 Долговечность и ее показатели

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

Долговечность машин закладывается при их проектировании и конструировании, обеспечивается в процессе производства и поддерживается в процессе эксплуатации. Таким образом, на долговечность влияют конструкционные, технологические и эксплуатационные факторы, которые по степени своего воздействия позволяют классифицировать долговечность на три вида: требуемую, достигнутую и действительную.

**Требуемая долговечность** задается техническим заданием на проектирование и определяется достигнутым уровнем развития техники в данной отрасли.

**Достигнутая долговечность** обуславливается совершенством конструкторских расчетов и технологических процессов изготовления.

**Действительная долговечность** характеризует фактическую сторону использования машины потребителем.

Действительная долговечность подразделяется на физическую, моральную и технико-экономическую.

Физическая долговечность определяется физическим износом детали, узла, машины до их предельного состояния. Для агрегатов определяющим является физический износ базовых деталей (у двигателя - блок цилиндров, у коробки передач — картер и др.).

Моральная долговечность характеризует срок службы, за пределами которого использование данной машины становится экономически нецелесообразным ввиду появления более производительных новых машин.

Технико-экономическая долговечность определяет срок службы, за пределами которого проведение ремонтов данной машины становится экономически нецелесообразным.

В большинстве случаев требуемая долговечность больше достигнутой, а последняя больше действительной. В то же время нередки случаи, когда действительная долговечность машин превышает достигнутую. Например, при норме пробега до капитального ремонта (КР), равной 120 тыс. км, некоторые водители при умелой эксплуатации автомобиля достигли пробега без капитального ремонта 400 тыс. км и более.

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

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

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

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

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

**Средний срок службы** (Mean lifetime) — математическое ожидание срока службы.

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

$$T_p = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N t_{pi} , \quad (6.25)$$

где  $t_{pi}$  — ресурс  $i$ -го объекта.

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

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

Последние два показателя определяются как корни  $t_\gamma$  уравнения

$$F_p(t_\gamma) = 1 - \gamma/100 , \quad (6.26)$$

где  $F_p(t)$  — функция распределения ресурса (срока службы).

Как видно из формулы (6.26), гамма-процентные показатели равны квантилям соответствующих распределений.

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

### 6.3 Ремонтпригодность и ее показатели

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

Для количественной оценки ремонтпригодности объектов применяют показатели, определение которых основано на учете затрат времени, труда и средств на техническое обслуживание и ремонт.

ГОСТ 27.002–89 для всех технических систем регламентирует следующие показатели ремонтпригодности: вероятность восстановления, гамма-процентное время восстановления, среднее время восстановления, интенсивность восстановления и средняя трудоемкость восстановления.

**Вероятность восстановления** (Probability of restoration, maintainability function) — это вероятность того, что время восстановления работоспособного состояния объекта не превысит заданное значение.

При этом время восстановления представляет собой время, затрачиваемое на обнаружение, поиск причины отказа и устранение последствий отказа.

**Гамма–процентное время восстановления** (Gamma-percentile restoration time) — время, в течение которого восстановление работоспособности объекта будет осуществлено с вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Среднее время восстановления** (Mean restoration time) — математическое ожидание времени восстановления работоспособного состояния объекта после отказа.

По статистическим данным, среднее время восстановления можно определить по формуле:

$$T = \frac{\sum_{i=1}^{N_e} t_{ei}}{N_e}, \quad (6.27)$$

где  $t_{ei}$  — время восстановления  $i$ -го объекта;

$N_e$  — число объектов, подлежащих восстановлению.

**Интенсивность восстановления** (Instantaneous, restoration rate) — условная плотность вероятности восстановления работоспособного состояния объекта, определенная для рассматриваемого момента времени при условии, что до этого момента восстановление не было завершено.

**Средняя трудоемкость восстановления** (Mean restoration man–hours, mean maintenance man–hours) — математическое ожидание трудоемкости восстановления объекта после отказа.

Эти показатели применяются при нормировании, определении возможности проведения операций ТО и ремонта в заданное (или лимитированное время), а также при сравнении различных автомобилей.

Для более полной характеристики ремонтпригодности допускается применять ряд частных показателей: контролепригодность, доступность, легкосъемность, взаимозаменяемость, стандартизация и унификация составных частей, восстанавливаемость деталей, преимущество технологических процессов, безопасность выполнения ТО и ремонта и эргономические характеристики.

Контролепригодность включает в себя приспособленность объектов к диагностированию в процессе их производства, эксплуатации и ремонта.

Доступность объектов характеризует свободу доступа к местам ТО и ремонта с необходимым инструментом, возможность использования средств механизации и автоматизации, а также одновременного выполнения максимального числа операций.

Легкосъемность показывает степень применения блочного принципа компоновки объектов, а также быстросъемных способов крепления узлов и агрегатов.



Взаимозаменяемость обеспечивается при максимальном использовании составных частей одного назначения с одинаковыми геометрическими размерами и посадками, а также при отсутствии подгоночных работ при сборке.

Стандартизация и унификация включает применение стандартных и унифицированных составных частей, ограничение числа типоразмеров деталей и номенклатуры смазочных материалов.

Восстанавливаемость обеспечивается за счет применения материалов изнашивающихся деталей, позволяющих восстановить их до номинальных или ремонтных размеров.

Преимственность технологических процессов ТО и ремонта характеризует возможность применения типовых технологических процессов ТО и ремонта как машины в целом, так и ее составных частей.

Безопасность выполнения ТО и ремонта обеспечивается при технически исправном оборудовании, соблюдении исполнителями норм и правил техники безопасности.

Эргономические характеристики служат для оценки удобства выполнения всех операций ТО и ремонта и должны исключать операции, требующие нахождения исполнителя длительное время в неудобной позе.

Все перечисленные свойства в совокупности определяют уровень ремонтпригодности объекта и оказывают существенное влияние на продолжительность ремонтов и технического обслуживания.

#### **6.4 Сохраняемость и ее показатели**

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

В процессе хранения и транспортирования объекты подвергаются неблагоприятным воздействиям, например, колебаниям температуры, действию влажного воздуха, вибрациям и т.п. Поэтому сохраняемость объекта характеризуется его способностью противостоять отрицательному влиянию условий хранения и транспортирования на его безотказность и долговечность.

Поскольку работоспособное состояние является основным состоянием объекта, то особое значение имеет влияние хранения и транспортирования на последующее поведение объекта в рабочем режиме. Например, после продолжительного хранения аккумуляторных батарей их емкость, а следовательно, и наработка до отказа, уменьшаются. Сохраняемость подобных изделий обычно характеризуется сроком нахождения на хранении в определенных условиях, в течение которого уменьшение средней наработки до отказа, обусловленное хранением, находится в допустимых пределах.

Различают сохраняемость объекта до ввода в эксплуатацию и в период эксплуатации (при перерывах в работе). В последнем случае срок сохраняемости входит в срок службы объекта. Для оценки сохраняемости применяют гамма-процентный и средний сроки сохраняемости.

**Гамма–процентным сроком сохраняемости** (Gamma–percentile storage time) называют срок сохраняемости, достигаемый объектом с заданной вероятностью  $\gamma$ , выраженной в процентах.

**Средним сроком сохраняемости** (Mean storage time) называется математическое ожидание срока сохраняемости.

## 6.5 Комплексные показатели надежности

Каждый из перечисленных выше показателей надежности позволяет оценить лишь отдельные ее свойства. Для обобщенной оценки надежности машин необходимы комплексные показатели, которые могли бы одновременно охватывать несколько свойств надежности. Такими показателями являются коэффициент готовности, коэффициент оперативной готовности и коэффициент технического использования.

**Коэффициент готовности ( $K_G$ )** — вероятность того, что объект окажется работоспособным в произвольный момент времени, кроме планируемых периодов, в течение которых использование объекта по назначению не предусматривается.

$$K_G = \frac{\sum_{i=1}^N t_{i-1,i}}{\Delta t} = \frac{\sum_{i=1}^N t_{i-1,i}}{\sum_{i=1}^N t_{i-1,i} - \sum_{i=1}^N t_{Bi}}, \quad (6.28)$$

где  $t_{i-1,i}$  — суммарная наработка  $i$ -го объекта в заданном интервале эксплуатации;

$t_{Bi}$  — суммарное время восстановления  $i$ -го объекта за тот же период эксплуатации;

$N$  — число наблюдаемых объектов в заданном интервале эксплуатации.

Статистически коэффициент готовности представляет собой отношение времени безотказной работы на интервале  $\Delta t$  к продолжительности этого интервала. Если на заданном интервале эксплуатации определены среднее значение наработки на отказ и среднее время восстановления объекта после отказа, то

$$K_G = \frac{T_O}{T_O + T_B}, \quad (6.29)$$

где  $T_O$  — среднее значение наработки на отказ;

$T_B$  — среднее время восстановления объекта после отказа.

**Коэффициент технического использования ( $K_{ТИ}$ )** — отношение математического ожидания суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии за некоторый период эксплуатации к математическому ожиданию суммарного времени пребывания объекта в работоспособном состоянии и простоев, обусловленных техническим обслуживанием и ремонтом за тот же период эксплуатации.

Статистически коэффициент технического использования определяют по формуле:

$$K_{ТИ} = \frac{T_O}{T_O + T_B + T_{ТО}}, \quad (6.30)$$

где  $T_O$  — суммарная наработка всех объектов;  
 $T_B$  — среднее время восстановления объекта после отказа;  
 $T_{ТО}$  — среднее время технического обслуживания.

Коэффициент технического использования характеризует в основном эффективность использования машин во времени.

В некоторых случаях возникает необходимость оценки экономических затрат, связанных с поддержанием машин в работоспособном состоянии. Для этого применяют средние, суммарные или удельные показатели трудоемкости и стоимости технических обслуживаний и ремонтов за определенный период эксплуатации. Эти показатели позволяют с экономической точки зрения дать комплексную оценку надежности машин.

### **Контрольные вопросы**

1. Какими показателями оценивается свойство надежности — безотказность?
2. Какими показателями оценивается свойство надежности — долговечность?
3. Какими показателями оценивается свойство надежности — ремонтно-пригодность?
4. Какими комплексными показателями оценивается надежность объекта?

## **7 СИСТЕМА СБОРА И ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ О НАДЕЖНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ**

Сбор первичной информации об отказах и неисправностях автомобилей в условиях эксплуатации позволяет управлять надежностью. Система сбора информации о надежности должна отвечать следующим основным требованиям:

– давать возможность получать в условиях эксплуатации достоверную информацию для оценки надежности всей машины, а также ее систем, агрегатов, узлов и деталей по всему перечню нормируемых показателей;

– обеспечивать возможность получения данных о надежности как при непрерывном наблюдении за подконтрольными машинами с начала эксплуатации и до списания, так и при разовом обследовании большого числа смешанных по возрасту машин (при этом должна обеспечиваться полнота, однородность, своевременность, непрерывность, достоверность полученной информации);

– предусматривать механизацию и автоматизацию сбора, хранения, обработки, выдачи информации и т. д.

Проведение работ по сбору и обработке информации о надежности должно обеспечить определение причин возникновения отказов и неисправностей; выявление деталей, узлов, агрегатов, лимитирующих надежность машин; установление и корректировку нормируемых показателей надежности автомобилей и их элементов; определение норм расхода запасных частей; выявление влияния условий эксплуатации на надежность и др.

Система сбора и обработки информации о надежности должна охватывать организации и предприятия — разработчики, предприятия–изготовители, ремонтные заводы, предприятия — потребители.

В зависимости от типа испытываемых объектов сбор информации о надежности может осуществляться на предприятиях — потребителях, полигонах, машиноиспытательных станциях, предприятиях технического обслуживания и ремонта, на предприятиях, осуществляющих гарантийный ремонт, а также в опорных автотранспортных предприятиях, организуемых на предприятиях–потребителях. Сбор информации о надежности автомобилей серийного производства должен проводиться с начала их эксплуатации потребителем.

Формы документов — носителей информации о надежности должны быть едиными для отрасли и соответствовать действующей нормативно–технической документации и стандартам. Для оценки надежности машин обычно используют первичную форму учета в виде журнала учета наработок, повреждений и отказов. В этот журнал заносят сведения о режимах работы в условиях эксплуатации, о наработках с начала эксплуатации до каждого отказа, описание характера отказа, способ устранения отказа, время его устранения, трудозатраты на устранение и другие данные. Кроме первичных форм, имеются формы — накопители информации и формы записи результатов количественного и качественного анализов надежности.

Оценку надежности автомобилей наиболее целесообразно проводить на опорных автотранспортных предприятиях, где организуется подконтрольная эксплуатация автомобилей.

Опорные автотранспортные предприятия организуют на базе действующих предприятий. Контрольная партия машин, находящаяся под наблюдением в опорном автотранспортном предприятии, должна быть одной модификации и одного года выпуска. Число машин в контрольной партии зависит от требуемой точности статистической оценки показателей надежности.

Оценку надежности производят по машине в целом и по ее агрегатам и системам. В процессе наблюдений фиксируют все без исключения нарушения технического состояния, отказы и неисправности.

Восстановление работоспособности машин, выполняемое в соответствии с правилами технического обслуживания, отказом не является. Повреждения и отказы, выявленные при проведении очередного технического обслуживания и не входящие в перечень его операций, считаются отказом.

Если в одном агрегате полная или частичная утрата работоспособности деталей одного узла вызывает полную или частичную утрату работоспособности деталей других узлов, то регистрируется один отказ.

При одновременном устранении нескольких отказов трудозатраты и время на устранение отказов регистрируют отдельно по каждому агрегату, наработки на отказ для них также учитывают отдельно.

По результатам эксплуатационных испытаний на надежность оформляют отчет, содержащий ведомость отказов и неисправностей, оценки количественных показателей надежности, перечень агрегатов, узлов и деталей, лимитирующих надежность, рекомендации по совершенствованию конструкций, технологии изготовления, организации технического обслуживания и ремонта и др.

Разработка методов сбора и обработки статистических данных, получаемых в результате наблюдений массовых случайных явлений, составляет предмет математической статистики.

Основные задачи статистической обработки следующие: определение объема выборки и числа наблюдений; расчет параметров распределения; выбор закона распределения; оценка критериев согласия между теоретической и экспериментальной кривыми выбранного закона распределения, реальное решение задач посредством оценок параметров распределения.

Одной из важнейших задач при обработке статистических данных является определение вида закона распределения случайной величины. Предварительно теоретический закон распределения может быть подобран, исходя из следующих рекомендаций:

а) принципиальный характер кривой распределения назначается по теоретическим соображениям, связанным с существом задачи, или аналогичным задачам (например, исследуемая случайная величина является ошибкой измерения в результате суммирования воздействий множества независимых элементарных ошибок, тогда можно считать, что она подчиняется нормальному закону);

б) в некоторых случаях теоретическую кривую выбирают, учитывая внешний вид статического распределения;

в) при использовании ЭВМ для расчетов можно определить несколько законов распределения и выбрать наилучший. В качестве критерия принимают наилучшее согласие теоретической и экспериментальной кривых распределения.

Для определения параметров выбранного закона распределения в математической статистике разработан ряд методов. Наиболее часто используют метод моментов, согласно которому параметры выбирают с таким расчетом, чтобы важнейшие числовые характеристики теоретического распределения были равны соответствующим статистическим характеристикам.

Для определения точечных оценок используют также метод наименьших квадратов, при котором сумма квадратов отклонений должна обращаться в минимум.

После вычисления параметров распределения определяют вид закона распределения случайной величины.

Закон распределения случайной величины определяют в следующей последовательности:

– выравнивают эмпирический ряд одним из теоретических распределений;

– производят оценку согласия эмпирического и теоретического распределений по критериям Пирсона или Колмогорова.

Методика оценки согласия эмпирического и теоретического распределений для различных законов одна и та же. Для проверки согласованности теоретического и статистического распределений наиболее распространенным является критерий  $\chi^2$  Пирсона.

При оценке надежности машин и оборудования требуется не только найти для заданного параметра числовое значение, но и оценить его точность и достоверность, необходимо определить, к каким ошибкам может привести замена искомого параметра его точечной оценкой и с какой степенью уверенности можно ожидать, что его ошибки не выйдут за известные пределы. В математической статистике для этой цели используют так называемые доверительные интервалы и вероятности.

Перед началом испытаний на надежность необходимо разработать план испытаний, устанавливающий число объектов испытаний, порядок их проведения (с восстановлением работоспособного состояния изделия после отказа, заменой отказавшего изделия или без восстановления и замены) и критерий их прекращения.

Объектами испытаний являются однотипные изделия, не имеющие конструктивных или других различий, изготовленные по единой технологии и испытываемые в идентичных условиях.

Выбор планов испытаний зависит от типа объектов, целей испытаний, оцениваемых показателей надежности, условий испытаний и других технико-экономических факторов.

Планирование испытаний на надежность предусматривает определение требуемого объема испытаний для вычисления оценки показателей надежности с заданной точностью (относительной ошибкой в оценке показателя надежности) и достоверностью (доверительной вероятностью). Согласно ГОСТу 27.410–87 установлено 16 различных планов испытаний на надежность, основные из которых [NUT], [NUr], [NU(r,T)], [NRT], [NRr], [NMT] и [NMf]. В этих обозначениях под символами понимаются:

N — объем выборки;

U — невозстанавливаемые и незаменяемые при испытаниях объекты в случае их отказа;

R — восстанавливаемые, но заменяемые объекты в случае отказа;

M — восстанавливаемые объекты при испытаниях в случае их отказа;

T — время испытаний или наработки;

r — число отказов или отказавших объектов.

Для примера, поясним названия некоторых планов:

[NUT] — план испытаний, согласно которому одновременно испытывают  $N$  объектов; отказавшие во время испытаний объекты не восстанавливаются и не заменяются, испытания прекращают по истечении времени испытаний или наработки  $T$  для каждого неотказавшего объекта или число восстановлений работоспособного состояния (при испытании для оценки показателя качества среднее время восстановления);

[NRT] — план испытаний, согласно которому одновременно испытывают  $N$  объектов; отказавшие во время испытаний объекты заменяют новыми, испытания прекращают по истечении времени испытаний или наработки  $T$  для каждого из  $N$  объектов.

Исходными данными при расчете объема испытаний служат:

- доверительная вероятность  $P_d$  интервальной оценки соответствующего показателя надежности, выбираемая из ряда 0,80; 0,90; 0,95; и 0,99;
- предельная относительная ошибка оценки качества соответствующего показателя надежности, выбираемая из ряда 0,05; 0,1; 0,15 и 0,20;
- коэффициент вариации  $v$  распределения случайной величины (наработки, ресурса, срока службы, времени восстановления, срока сохраняемости);
- вид закона распределения случайной величины (наработки, ресурса, срока сохраняемости, времени восстановления);
- объем совокупности  $M$  (для совокупности ограниченного объема).

Рекомендуемые планы определительных испытаний и оценка показателей на надежности приведены в ГОСТ 27.410.87.

Контрольные испытания на надежность проводятся с целью проверки соответствия показателей надежности изделий требованиям стандартов и технических условий. Новые изделия ставятся на испытания после приемки их ОТК завода–изготовителя и завершения периода наработки. Изделия, находящиеся в эксплуатации, подвергаются контрольным испытаниям периодически в сроки, предусмотренные нормативно–технической документацией, после проведения текущего или капитального ремонта.

Выбор плана контрольных испытаний определяется:

- видом контролируемых показателей надежности;
- составом исходных данных;
- принятым методом контроля (одноступенчатый контроль, последовательный контроль для восстанавливаемых и невосстанавливаемых изделий, контроль при помощи доверительных границ).

*Одноступенчатый метод* целесообразно использовать при жестком ограничении времени, отводимого на испытания.

*Последовательный метод* применяется при ограниченном числе изделий, выделяемых для испытаний. Этот метод наиболее эффективен при испытаниях восстанавливаемых изделий.

*Метод доверительных интервалов* рекомендуется применять при анализе данных эксплуатационных наблюдений, а также для уточнения достоверности принятого решения после одноступенчатого контроля.

Оценка показателей надежности по одноступенчатому методу (*метод однократной выборки*) осуществляется после испытания определенного и заранее рассчитанного объема выборки. Объем испытаний не зависит от результатов промежуточных наблюдений, а определяется совокупностью всех наблюдений, произведенных за время испытаний. Преимущества данного метода заключаются в том, что он позволяет произвести оценку надежности изделия при минимальном объеме испытаний.

Анализ результатов испытаний осуществляется способом проверки условия безотказности контролируемого объекта за выбранный период наблюдений  $t$ , т. е. обеспечивается заданное значение вероятности безотказной работы  $p_0(t)$ .

Для повышения точности результатов и сокращения времени испытаний наблюдения производятся над несколькими однотипными изделиями одновременно.

Число объектов наблюдений  $N$  определяется по формуле:

$$N = \frac{\ln(1 - p_D)}{\ln p_0(t)}, \quad (7.1)$$

где  $p_D$  — доверительная вероятность, выбираемая из ряда значений 0,8; 0,9; 0,95; 0,99.

Ценность данной формулы заключается в том, что она справедлива при неизвестном законе распределения времени безотказной работы. Если за время  $t$  отказы не возникли, то следует признать, что надежность изделий соответствует предъявляемым требованиям. В противном случае требуемое значение вероятности безотказной работы не подтверждается, и необходимо провести дополнительные наблюдения. Если и после этого получен отрицательный результат, то принимается решение о несоответствии надежности изделий требованиям нормативно-технической документации.

Высокие требования к надежности современных машин и механизмов приводят к тому, что время проведения определительных и контрольных испытаний существенно увеличивается. Для сокращения сроков испытаний и при соблюдении требуемой достоверности результатов испытаний необходимо значительно увеличить объем выборки, что не всегда осуществимо. Это обстоятельство стимулировало поиск методов ускорения испытаний при относительно небольшом количестве испытываемых образцов.

В настоящее время наметились два направления при организации ускоренных испытаний: ускоренные испытания в нормальном режиме и форсирование режимов работы изделий. В обоих случаях для обеспечения заданной достоверности результатов испытаний необходимо иметь стабильную априорную информацию о характере изменения оцениваемого показателя надежности, независимую от случайности производственного процесса при изготовлении изделия. Подобная информация может быть получена только в результате предварительных исследований работы однотипных машин.



В результате предварительных исследований необходимо получить количественные характеристики результатов ускоренных испытаний и их достоверности.

Ускоренные испытания должны проводиться по относительно простой методике и с незначительными экономическими затратами. Предпочтительным в этом плане является метод проведения ускоренных испытаний в нормальном режиме при наличии априорной информации о законе распределения времени безотказной работы. Испытания проводятся за время  $T_{II}$ , значительно меньшее гарантийной долговечности  $T_{Г}$ , т. е. времени работы изделия, на которое задаются показатели надежности.

Ускорить процесс проведения испытаний на надежность можно также путем форсирования режимов работы изделия отдельных узлов. К числу основных факторов, ускоряющих процесс испытаний, относятся: увеличение частоты работы исполнительных элементов, повышение скорости движения, увеличение вибрационно-ударных нагрузок, резкие колебания температуры, увеличение влажности и колебания атмосферного давления и т. д.

Для определения характеристик надежности изделия по результатам форсированных испытаний необходимо располагать зависимостью

$$q_0(T_{Г}) = \Phi[q_{\Phi}(T_{II})] \quad (7.2)$$

где  $q_0(T_{Г})$  — вероятность отказа за время  $T_{Г}$  в нормальном режиме;

$q_{\Phi}(T_{II})$  — вероятность отказа за время  $T_{II}$  в форсированном режиме.

Определить эту зависимость можно в результате предварительных исследований. Если удастся установить вид данной функции, то по результатам испытаний легко найти коэффициенты пересчета, позволяющие определить показатели надежности изделия для нормальных условий работы.

При проведении форсированных испытаний чрезвычайно важным является вопрос о допустимой границе воздействия на изделия форсирующего фактора. Форсирование режимов работы машин можно проводить лишь в разумных пределах, так как значительное увеличение коэффициента нагрузки может привести к появлению отказов, которых в нормальном режиме быть не может.

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите основные задачи математической обработки данных по надежности.
2. Что позволяет оценить критерий Пирсона?
3. Какие данные необходимы для расчета объема испытаний?
4. Назовите основные методы испытаний на надежность.

## 8 НОРМАТИВЫ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЕЙ И МЕТОДЫ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Норматив** — количественный или качественный показатель, используемый для упорядочения процесса принятия и реализации решения.

По назначению нормативы подразделяются на:

- регламентирующие свойства изделий (надежность, производительность, грузоподъемность, масса, габариты);
- регламентирующие состояние изделий и материалов (значения параметров технического состояния, плотность, вязкость, содержание компонентов и примесей);
- регламентирующие ресурсное обеспечение (капиталовложения, расход материалов и запасных частей, трудовых затрат);
- регламентирующие технологические требования (определяющие порядок проведения определенных операций ТО и Р).

По уровню нормативы подразделяются на:

- общегосударственные (государственные стандарты, общегосударственные нормы технологического проектирования ОНТП, нормы расхода запасных частей и т.д.);
- межотраслевые (положение о ТО и Р подвижного состава);
- отраслевые (типовые технологические и методические указания, отраслевые стандарты);
- внутриотраслевые и хозяйственные (нормативы качества ТО и Р, стандарты предприятий).

Нормативы используются при определении уровня работоспособности автомобилей и парка, планировании объемов работ, числа исполнителей, потребность в производственной базе.

К важнейшим нормативам технической эксплуатации относятся:

- периодичность ТО;
- ресурс изделия до ремонта;
- трудоемкость ТО и Р;
- расход запасных частей и эксплуатационных материалов.

Определение нормативов производится на основе данных о надежности изделий, расходе материалов, продолжительности и стоимости работ ТО и ремонта. Рассмотрим наиболее распространенные методы определения нормативов технической эксплуатации.

### 8.1 Методы определение периодичности технического обслуживания

**Периодичность ТО** – это нормативная наработка (в километрах пробега или часах работы) между двумя последовательно проводимыми однородными работами ТО. При проведении обслуживания применяются два основных метода доведения изделия до требуемого технического состояния.

При первом методе (по наработке) устанавливается определенная периодичность, в соответствии с которой изделие восстанавливается до заданного технической документацией уровня при достижении установленной наработки.

При втором методе (по параметру технического состояния) при заданной периодичности производится сначала контроль технического состояния и принимается решение о проведении предупредительных технических воздействий, т. е. доведении технического состояния изделия до установленного уровня. Таким образом, в общем виде операция ТО состоит из двух частей – контрольной и исполнительской.

Целесообразность использования того или иного способа проведения ТО (с контролем или без него) определяется соотношением затрат на устранение и предупреждение отказов, на контрольную и исполнительскую части операции, вариацией случайных величин и другими факторами.

Методы определения периодичности ТО подразделяются на:

- а) простейшие (метод аналогии по прототипу);
- б) аналитические, основанные на результатах наблюдений и основных закономерностях ТЭА;
- в) имитационные, основанные на моделировании случайных процессов.

### **8.1.1 Определение периодичности технического обслуживания методом аналогий и уточнений**

Периодичность (так же, как и перечень работ) в соответствии с данным методом назначается путем сравнений с прототипами или предшествующими на данном заводе моделями и затем уточняется в результате заводских, межведомственных испытаний и опыта эксплуатации. Так как показатели эксплуатационной технологичности автомобилей долгое время не нормировались при проектировании, то при составлении рекомендаций над заводами довлело стремление застраховать свою продукцию, что приводило к назначению минимальной периодичности (и максимального перечня операций), многоступенчатым системам обслуживания, резко различающимся рекомендациям по обслуживанию конструктивно однородных узлов и механизмов автомобилей разных заводов и вызывало большие трудности при организации технологического процесса на автотранспортных предприятиях.

Естественно, что данный метод может быть рекомендован лишь в качестве ориентировочного для предварительных, главным образом, заводских испытаний, а также при назначении исходных режимов.

### **8.1.2 Определение периодичности технического обслуживания по изменению внешнего вида узла, механизма, соединения, материала**

По внешнему виду и характеру загрязнений подвижного состава определяют периодичность и объем уборочных и моечных операций при работе

автомобиля в данных условиях эксплуатации (дорожные условия, время года и т. д.). Внешний вид и расположение смазки в подшипниковых узлах трения (расслоение смазки, ее сброс) является одним из критериев, свидетельствующих о необходимости замены смазки. Этот метод применяют для определения периодичности замены масел для двигателей (капельная проба), смазки узлов трения автомобилей через пресс-масленки, выполнения ряда крепежных операций. Данный метод имеет ограниченное применение и дает лишь примерные результаты.

### 8.1.3 Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности

Параметрам изменения технического состояния свойственно рассеивание. Если назначать периодичность технического обслуживания с учетом всего размаха возможных значений параметра, то она будет слишком низкой, а само содержание работ — нестабильным. Назначение периодичности, исходя из среднего значения параметра, приводит к тому, что около половины случаев отказов и неисправностей возникает ранее установленной периодичности. Предложенный метод определения периодичности по допустимому уровню безотказности предусматривает определение периодичности  $l_0$  при условии, что вероятность возникновения отказа или неисправности ранее установленной периодичности будет меньше обусловленного уровня.

Вероятность безотказной работы

$$R_D \{x_i \leq l_0\} = \gamma, \text{ т.е. } l_0 = x_\gamma, \quad (8.1)$$

где  $x_i$  — наработка на отказ;

$R_D$  — допустимая вероятность безотказной работы;

$\gamma = 1 - F$ ;

$l_0$  — периодичность ТО;

$x_\gamma$  — гамма-процентный ресурс.

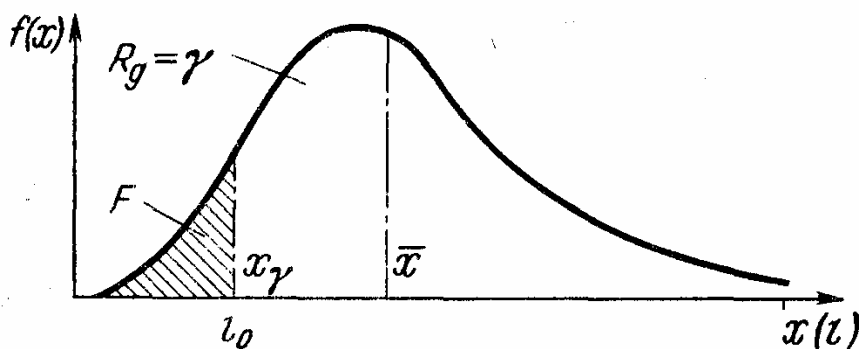


Рисунок 8.1 — Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности

Для агрегатов и механизмов, обеспечивающих безопасность движения,  $R_D = 0,9 - 0,98$ ; для прочих узлов и агрегатов  $R_D = 0,85 - 0,90$ .

Определенная таким образом периодичность значительно меньше средней наработки на отказ и связана с ней следующим образом:

$$l_0 = \beta \bar{L}, \quad (8.2)$$

где  $\beta$  — коэффициент оптимальной периодичности, учитывающий вид кривой распределения, коэффициент вариации и доверительный уровень вероятности;

$\bar{L}$  — средняя наработка на отказ.

Чем меньше вариация случайной величины, тем больше периодичность технического обслуживания при прочих равных условиях может быть назначена. Более жесткие требования к безопасности снижают рациональную периодичность технического обслуживания (таблица 8.1).

Таблица 8.1 — Коэффициенты рациональной периодичности при различных значениях допустимой вероятности безотказной работы и коэффициента вариации ресурса

$P_d$	Коэффициент вариации ресурса			
	0,2	0,4	0,6	0,8
0,85	0,80	0,55	0,40	0,25
0,95	0,67	0,37	0,20	0,10

Отметим условия, способствующие использованию данного метода:

- экономические последствия отказа и неисправности данного соединения, узла, механизма не являются первостепенными;
- массовость объектов, при которой удельное влияние каждого на работу машины, механизма, соединения относительно невелико;
- практическая невозможность фиксации последовательного изменения состояния каждого объекта по времени или пробегу.

Наиболее широкое применение данный метод нашел для установления периодичности технического обслуживания (контроль и подтягивание) крепежных деталей. Метод может быть применен и для других узлов, агрегатов и механизмов в случае предварительной оценки периодичности технического обслуживания для их корректирования, а также при нормировании ресурса.

#### 8.1.4 Определение периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния

Изменение определенного параметра технического состояния у группы автомобилей происходит по-разному (кривые 1–7 рисунок 8.2). В среднем для этой группы тенденция изменения параметра характеризуется кривой 4, позволяющей определить среднюю наработку, когда в среднем вся совокупность изделий достигает допустимого значения параметра технического состояния. Этой средней наработке соответствует средняя интенсивность изменения параметра. При этом изделия с большей интенсивностью изменения параметра технического состояния будут достигать предельного состояния

раньше, и, следовательно, для них при назначенной периодичности технического обслуживания, соответствующей средней наработке, будет зафиксирован отказ. Подобная система обслуживания является нерациональной, поэтому назначают такую периодичность  $l_0$ , при которой вероятность отказа не будет превышать заданной величины риска  $F$ , например,  $F = F_2$ .

Этот случай соответствует большей интенсивности изменения параметра технического состояния, чем средняя, называемой максимально допустимой:

$$a_D = \bar{a}\mu, \quad (8.3)$$

где  $\bar{a}$  — средняя интенсивность изменения параметра технического состояния, получаемая из кривых распределения;

$\mu$  — коэффициент максимальной интенсивности, учитывающий вид кривой распределения, коэффициент вариации и доверительный уровень вероятности.

На коэффициент  $\mu$  влияют степень риска, вариация и вид закона распределения.

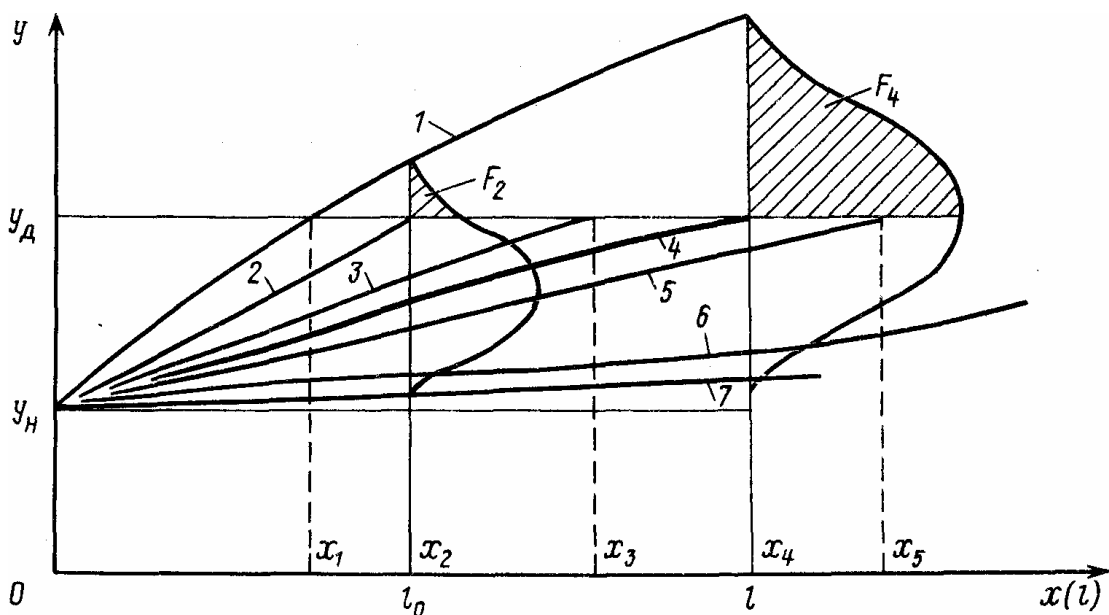


Рисунок 8.2 — Метод определения периодичности технического обслуживания по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния

Зная коэффициент вариации и задавшись доверительным уровнем вероятности, определяют  $\mu$ , а затем и максимальную интенсивность изменения параметра. Следовательно, с учетом уточнений данный метод позволяет определить такую периодичность обслуживания  $l_0$ , при которой вероятность превышения допустимого значения параметра технического состояния меньше допустимой. Естественно, что доверительный уровень вероятности не может быть постоянным для всех узлов, агрегатов и механизмов или принимаемых решений: для более ответственных он повышается, а для менее ответственных — снижается (таблица 8.2).

Таблица 8.2 — Обобщение значений доверительных уровней вероятностей

Последствия неправильного выбора доверительного уровня	$R_d$
Отказы или неправильно принятые решения, приводящие к экономическим потерям (увеличению трудоемкости, стоимости, простоев, к нарушению графика, штрафам, необходимости резервирования и т. д.) при:	
– нормировании долговечности конических передач авиационных редукторов;	0,95
– нормировании долговечности подшипников, шестерен, ступиц, клапанов, коленчатых валов, рессор, колес и других деталей автомобилей;	0,90–0,95
– нормировании долговечности тяговых двигателей электровозов;	0,94
– определении периодичности операций технического ухода за тракторами;	0,85
– разработках технологических процессов в машиностроении;	0,80–0,90
– расчетах безотказности средств автоматизации в химической промышленности.	0,90
Отказы и неправильно принятые решения, угрожающие здоровью и жизни людей, при:	
– нормировании долговечности деталей, влияющих на безопасность движения или полета;	0,95–0,99
– расчетах по безопасности и организации движения автомобилей;	0,90–0,95
– оценке новых лекарств, способов лечения, включая операционные.	0,95–0,99

Учитывая проведенные исследования, а также опыт других отраслей промышленности и транспорта, при назначении периодичности технического обслуживания автомобилей могут быть приняты следующие ориентировочные значения доверительных уровней вероятности: для агрегатов, механизмов, узлов, деталей и соединений, влияющих на безопасность движения,  $R_d = 0,9–0,95$ , для прочих  $R_d = 0,85–0,90$ .

Область применения рассмотренного метода — объекты обслуживания с явно фиксируемым изменением параметров технического состояния, к которым относится большинство узлов, агрегатов, механизмов, подвергаемых регулировочным (тормоза, сцепление, углы установки передних колес, реле-регулятор, натяжные ремни, клапанный механизм и др.), очистительным, (очистка фильтров, слив отстоя) и некоторым смазочным (проверка уровня) работам.

Необходимо подчеркнуть, что данным методом определяется рациональная периодичность выполнения контрольной части операции, а исполни-

тельская часть выполняется по потребности с определенным коэффициентом повторяемости.

Применяя данный метод следует учитывать, что в нем непосредственно не рассматривается экономическая сторона определенной периодичности технического обслуживания.

### **8.1.5 Определение периодичности технического обслуживания по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт (технико – экономический метод)**

Рассмотренные методы определения периодичности технического обслуживания справедливы при условии, что на протяжении какого-то пробега или времени работы автомобиля изменения параметров технического состояния хотя и происходят, но не принимаются во внимание, а после прохождения этого пробега проводится техническое обслуживание, которое полностью или частично восстанавливает утраченные свойства соединения, механизма или агрегата. Так, например, по мере работы автомобиля средний зазор между накладками тормозных колодок и барабанами постепенно увеличивается до допустимого значения. При этом увеличивается и тормозной путь, оставаясь, однако, в пределах установленных норм, соответствующих допустимому значению зазора. Однако в ряде случаев любое изменение периодичности технического обслуживания оказывает влияние на стоимость технического обслуживания и ремонта.

Технико-экономический метод определения рационального режима технического обслуживания учитывает влияние периодичности технического обслуживания на износ деталей (межремонтный пробег  $L$ ), стоимость израсходованных материалов, а также трудовые затраты по техническому обслуживанию и ремонту. При этом удельные затраты на проведение технического обслуживания и ремонта определяются следующим образом:

$$C_{\Sigma} = C_I + C_{II} , \quad (8.4)$$

где  $C_{\Sigma}$  — суммарная удельная (т. е. отнесенная на единицу пробега) стоимость технического обслуживания и ремонта;

$C_I = A/l$  — удельная стоимость технического обслуживания ( $A$  — затраты на операции технического обслуживания;  $l$  — периодичность обслуживания);

$C_{II} = B/L$  — удельная стоимость ремонта ( $B$  — затраты на ремонт;  $L$  — пробег между ремонтами).

Зависимости удельных затрат на обслуживание и ремонт в общем случае представляют собой гиперболические или близкие к ним функции, причем при увеличении периодичности технического обслуживания снижаются затраты на техническое обслуживание, но одновременно повышаются затраты на ремонт. Поэтому суммарная удельная стоимость технического обслу-



живания и ремонта имеет экстремальную точку, соответствующую оптимальной периодичности технического обслуживания с минимумом затрат.

Минимальные затраты на техническое обслуживание и ремонт являются лишь одной экономической характеристикой или критерием оптимальной периодичности и режима технического обслуживания в целом.

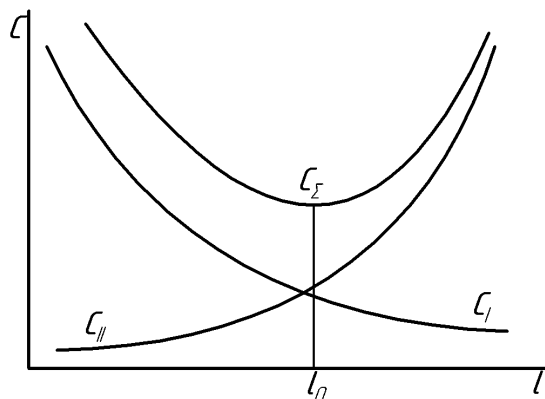


Рисунок 8.3 — Определение периодичности технического обслуживания по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт (технико-экономический метод)

Могут быть учтены также технические критерии, безопасность движения, потери, связанные с прекращением транспортного процесса, простоями, стоимостью базы для технического обслуживания и ремонта и т. д. В этом случае оптимальная периодичность определяется из условия минимизации функции:

$$C_{\Sigma} = \sum_{j=1}^n C_j, \quad (8.5)$$

где  $C_j$  — факторы, влияющие на суммарные затраты.

Таким образом, в соответствии с технико-экономическим методом под оптимальным режимом технического обслуживания понимается такой режим, который обеспечивает надежную и безопасную работу подвижного состава при минимальных затратах материалов, средств и рабочей силы на техническое обслуживание и ремонт, отнесенных на единицу пробега или транспортной работы.

Рациональным режимом технического обслуживания следует считать такой режим, который в данных условиях эксплуатации обеспечивает по сравнению с ранее принятым режимом увеличение безотказности и безопасности работы подвижного состава и снижение затрат материалов, средств и рабочей силы на техническое обслуживание и ремонт, а также сокращение простоев подвижного состава в обслуживании и ремонте. Технико-экономический метод вслед за его разработкой нашел широкое применение при обосновании оптимальных режимов технического обслуживания различных машин и механизмов. При этом он применен как для определения оптимальных или рациональных режимов по отдельным видам работ (например,

смазочным), так и для сравнительной оценки эффективности режима в целом.

### 8.1.6 Определение периодичности технического обслуживания экономико-вероятностным методом

Этот метод обобщает предыдущие и учитывает экономические и вероятностные факторы, а также позволяет сравнивать различные стратегии поддержания и восстановления работоспособности автомобиля.

Как уже отмечалось, одна из стратегий сводится к устранению неисправностей изделия по мере их возникновения (рисунок 8.4, а), т.е. по потребности. Удельные затраты при этом определяются как отношение разовых затрат на ремонт к средней наработке на отказ.

Преимуществом этой стратегии является простота, основным недостатком — неопределенность состояния изделия, которое может отказать в любое время. Кроме того, затрудняются планирование и организация ТО и ремонта.

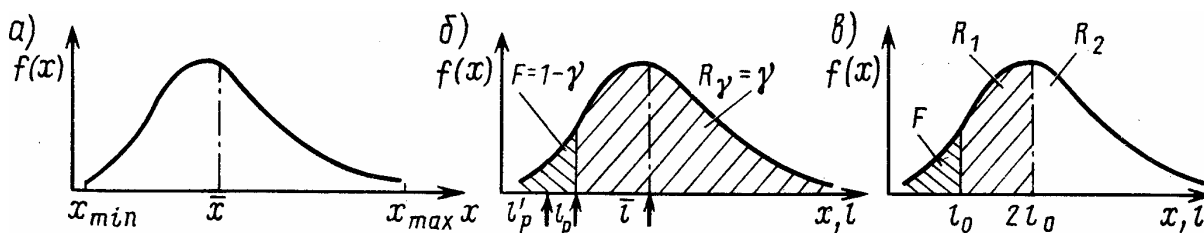


Рисунок 8.4 — Экономико-вероятностный метод определения периодичности ТО

Альтернативная стратегия (рисунок 8.4, б) предусматривает предупреждение отказов и повреждений, восстановление исходного или близкого к нему состояния изделия до того, как будет достигнуто предельное состояние. Эта стратегия реализуется при предупредительном ТО, предупредительных заменах деталей, узлов, механизмов и т. д.

Рассмотрим метод реализации этой стратегии. Так как теоретически отказ может произойти при любой сколько угодно малой периодичности, то стратегия реализуется не в чистом, а в смешанном виде: допускается определенная, как правило, малая вероятность отказа, а периодичность предупредительного обслуживания или ремонта меньше средней наработки на отказ. При этом те отказы, которые возникли раньше заданной периодичности обслуживания, устраняются по мере их возникновения. Обычно задается допустимая вероятность отказа или требуемая вероятность безотказной работы.

Остальные работы будут проводиться с периодичностью  $l_p$ , стоимостью  $d$  и заданной вероятностью данного события.

Преимущества данной стратегии состоят в следующем. Во-первых, может быть гарантирован определенный уровень надежности работы изделия. Во-вторых, затраты на техническое обслуживание значительно ниже за-

трат на ремонт при отказе, который к тому же может сопровождаться с дополнительными потерями, связанными с оказанием помощи из-за нарушения транспортного процесса. В-третьих, предупредительный характер этой стратегии создает условия для плановой организации ТО и ремонта. Эти преимущества компенсируют определенный недостаток данной стратегии, заключающийся в недоиспользовании ресурса изделия, так как периодичность предупредительных работ оказывается меньше, чем средняя наработка до отказа.

При этой стратегии удельные затраты определяются как отношение средневзвешенной стоимости одной операции к средневзвешенной наработке с учетом отказа части изделий:

$$C = \frac{cF + dR}{l}, \quad (8.6)$$

где  $c$  — удельные затраты на проведение ремонта;  
 $d$  — удельные затраты на проведение технического обслуживания;  
 $l$  — средневзвешенная наработка.

В экономико-вероятностном методе так же, как и при определении оптимальной периодичности по безотказности, используют понятие коэффициента рациональной периодичности.

$$l_0 = \beta_0 \bar{L}, \quad (8.7)$$

$$\beta_0 = \left[ \frac{2(d/c)v}{(1+v^2)(1-v)} \right]^v, \quad (8.8)$$

где  $\beta_0$  — коэффициент рациональной периодичности;  
 $v$  — коэффициент вариации.

Экономико-вероятностный метод позволяет рассчитать рациональную периодичность ТО исходя из заданного сокращения потока отказов в межконтрольные периоды, т.е. между двумя последовательными ТО.

Экономико-вероятностный метод определяет и рациональные пути совершенствования организации ТО.

Действительно, при периодичности  $l_0$  фактически требуют предупредительного воздействия те изделия (первая группа), потенциальный отказ которых может возникнуть с некоторой вероятностью  $R_1$  (рисунок 8.3), при наработке  $l_0 \leq l \leq 2l_0$  (без учета вариации самой оптимальной периодичности). Изделия с потенциальной наработкой на отказ  $l_0 > 2l_0$  (вторая группа) могут обслуживаться не при данном, а при последующих обслуживаниях. Вероятность этого события  $R_2 = R - R_1$ , поэтому при втором способе реализации предупредительной стратегии необходимо разделение изделий первой и второй группы, которое осуществляется с помощью контроля (диагностирования), требующего дополнительных затрат.

Таким образом, с оптимальной периодичностью  $l_0$  контролируются все не отказавшие до этого момента изделия. Стоимость этого контроля составляет  $d_k$ , а работы по доведению технического состояния до нормы, имеющие стоимость  $d$ , с вероятностью  $R_1$  проводятся только для первой группы изделий. Очевидно, такое развитие предупредительной стратегии с использованием диагностирования будет целесообразно, если дополнительная стоимость контроля (специальное оборудование, квалифицированный труд) будет компенсирована сокращением стоимости профилактической операции и ущерба от отказов. Следовательно, профилактическая операция в контрольной своей части будет выполняться для всех изделий по потребности с учетом результатов контроля.

Вторым условием применения предварительного контроля является обеспечение достоверного разделения (прогнозирования) с помощью диагностирования изделий, требующих обслуживания при очередном или последующих профилактических воздействиях.

Очевидно, что предварительный контроль целесообразен при уменьшении суммарных затрат по второму методу. При этом оптимальные периодичности при первом и втором методах могут не совпадать. Одним из методов проведения контрольных работ является диагностирование, которое служит для определения технического состояния автомобиля, его агрегатов и узлов без разборки и является технологическим элементом ТО и ремонта.

### **8.1.7 Определение периодичности технического обслуживания методом статистических испытаний**

Этот метод основан на имитации (моделировании) реальных случайных процессов ТО, что дает возможность ускорить испытания, исключить влияние побочных факторов, резко сократить стоимость экспериментов, провести при необходимости исследования с целью выбора наиболее пригодного варианта. Исходным материалом для моделирования служат как фактические данные, полученные при наблюдении, так и законы распределения.

## **8.2 Методы группировки операций**

Техническое обслуживание включает в себя 8–10 видов работ (смазочные, крепежные, регулировочные, диагностические и др.) более 200 объектов обслуживания, требующих предупредительных воздействий. Каждый объект, в свою очередь, имеет свою оптимальную периодичность ТО, определяемую методами, изложенными выше. Если следовать этим периодичностям, то автомобиль в целом практически непрерывно должен находиться на обслуживании отдельных соединений, агрегатов, систем, что вызывает большие сложности с организацией работ и дополнительные потери времени, особенно на подготовительно–заключительных операциях.

Поэтому после определения оптимальной периодичности каждой операции производят группировку операций в виды ТО. К группировке операций в ступени существует два подхода:

- периодичность проведения ТО считается заданной;
- периодичность проведения ТО заранее не задана.

В настоящее время разработано большое количество методов группировки операций.

Классификация методов группировки операций в перечни работ ступеней ТО приведена на рисунке 8.5. Рассмотрим лишь некоторые из методов.

**Группировка по стержневым операциям ТО** основана на том, что выполнение группы операций ТО приурочивается к оптимальной периодичности  $l_{CT}$  так называемых стержневых операций, которые обладают следующими признаками:

- а) влияют на безопасность движения;
- б) невыполнение их снижает безотказность, экономичность и влияет на работоспособность;
- в) характеризуются большой трудоемкостью, требуют специального оборудования и обустройство поста;
- г) регулярно повторяются.

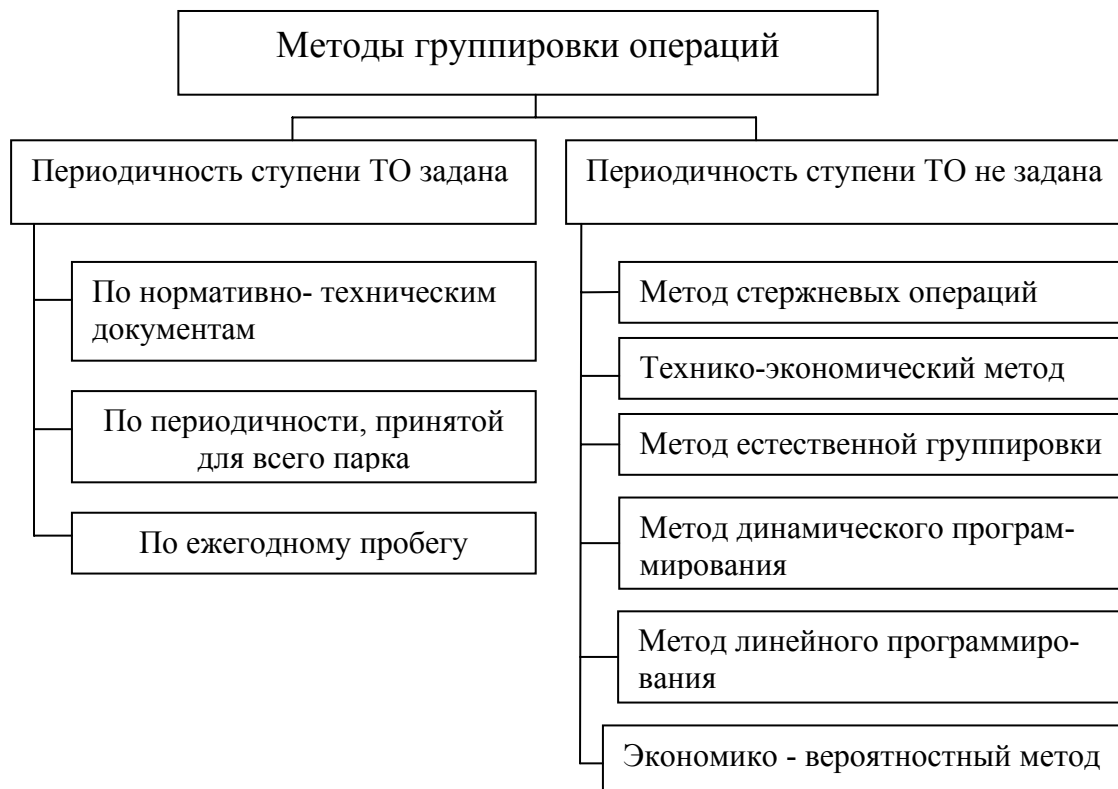


Рисунок 8.5 — Классификация методов группировки операций в перечни работ ступеней ТО

Примером стержневых операций могут служить: регулирование тормозной системы, смена масла и т.д. При этом периодичность стержневой

операции принимается за периодичность ступени ТО, т.е.  $l'_{CT} = (l_{TO})_1$  и одновременно производятся операции, периодичность которых располагается между периодичностью выполняемой стержневой операции и периодичностью последующей стержневой операции —  $l'_{CT} \leq l_i \leq l''_{CT}$  (рисунок 8.6).

Операции, оптимальная периодичность которых  $l_{0i}$  выше периодичности стержневой операции, выполняются с коэффициентом повторяемости, который равен:

$$k_i = \frac{l'_{CT}}{l_{0i}} = \frac{(l_{TO})_1}{l_{0i}}, \quad 0 \leq k \leq 1 \quad (8.9)$$

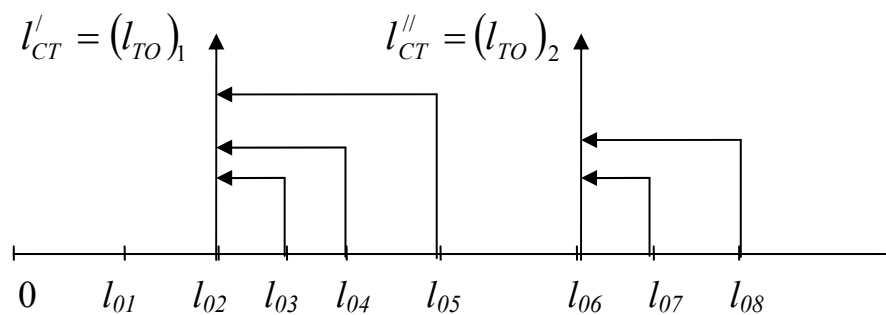


Рисунок 8.6 — Схема группировки по стержневым операциям

**Технико-экономический метод** определяет такую групповую периодичность ТО, которая соответствует минимальным затратам на ТО и ремонт по всем рассматриваемым объектам.

$$C_{\Sigma\Sigma} = \sum_{i=1}^S C_{Ii} + \sum_{i=1}^S C_{IIIi}, \quad (8.10)$$

где  $C_{\Sigma\Sigma}$  — суммарные удельные затраты на ТО и ТР объектов;

$C_{Ii}$  — удельные затраты на ТО  $i$  – го объекта;

$C_{IIIi}$  — удельные затраты на ТР  $i$  – го объекта;

$S$  — число операций в группе.

Таким образом, оптимальная периодичность технического обслуживания для группы объектов выбирается из условия  $C_{\Sigma\Sigma} = C_{мин}$ .

**Метод естественной группировки** используется в тех случаях, когда ряд объектов обслуживания имеет весьма близкие оптимальные периодичности ТО. Например, вся совокупность несамоконстрирующихся крепежных соединений имеют два пика потребности в возобновлении предварительной затяжки в интервалах 2–5 и 10–14тыс.км. Достаточно близкую периодичность имеют тормозные механизмы (10–12тыс.км), клапанные механизмы (9–14тыс.км.), углы установки управляемых колес (7–12тыс.км).

### **8.3 Определение трудоемкости технического обслуживания и ремонта**

Под трудоемкостью понимаются затраты труда на выполнение работ операции или группы операций технического обслуживания или ремонта в чел.– часах.

Норма трудоемкости выполнения операций складывается из:

- подготовительно-заключительных работ (3,5 %);
- оперативных работ (88 %);
- обслуживания рабочего места (2,5 %);
- перерыва на отдых и прочее (6 %).

1. Подготовительно–заключительное время необходимо для ознакомления исполнителя с порученной работой, подготовки рабочего места, получения и сдачи наряда, инструментов, материалов и т. д.

2. Оперативное время, необходимое для выполнения производственной операции, подразделяется на основное и вспомогательное.

Основное (технологическое) — осуществляется собственно операция.

Вспомогательное необходимо для обеспечения возможности выполнения операции (время установки на пост, обеспечение доступа к объекту обслуживания или ремонта и т. д.).

3. Время обслуживания рабочего места необходимо для ухода за рабочим местом и применяемым инструментом или оборудованием.

Время или трудоемкость выполнения операций ТО и ТР является случайной величиной, имеющей значительную вариацию, поэтому норма оперативного времени определяется как средняя величина ряда хронометражных наблюдений за данной операцией в конкретных условиях — квалификация персонала, оборудование, технология ТО и ТР.

Метод микроэлементных нормативов — использование нормативов времени на простейшие движения исполнителя, например: корпуса, ног, рук, пальцев, которые необходимы для выполнения данной операции ТО и ТР.

### **8.4 Определение ресурсов и норм расхода запасных частей**

При нормировании ресурсов применяются следующие показатели:

- средний ресурс;
- гамма–процентный (при 85-90 %) ресурс.

Нормы по этим показателям обычно устанавливаются для случаев:

- ресурс до 1–го капитального ремонта при определенных условиях эксплуатации;
- средний срок службы (в годах) или ресурс автомобиля до списания.

Нормы расхода запасных частей необходимы для планирования их производства и определения необходимого объема запчастей для данного АТП.

Действующие нормы устанавливают средний расход запасных частей (по каждой детали) в штуках на 100 автомобилей в год.

В общем случае норма расхода ( $H$ ) определяется с помощью ведущей функции потока отказов (замен) конкретной детали:

$$H = \frac{\Omega(t)}{t}, \quad (8.11)$$

где  $t$  — продолжительность периода (в годах), для которого получена  $\Omega(t)$  и определяется соответствующая норма.

Для деталей, ресурс которых сопоставим со среднегодовым пробегом автомобиля  $L_T$ , норма расхода определяется за полный срок службы по формуле:

$$H \approx \left[ \frac{L_r t_\alpha - L_1}{\eta L_1} + 0,5 \left( \frac{v^2}{\eta} + 1 \right) \right] \frac{100}{t_\alpha}, \quad (8.12)$$

где  $t_\alpha$  — срок службы автомобиля;

$L_1$  — ресурс до первой замены;

$v$  — коэффициент вариации ресурса детали;

$\eta$  — коэффициент восстановления ресурса детали при последующих заменах.

Расход запасных частей возрастает при сокращении ресурса деталей при последующих заменах, т. е. уменьшении  $\eta$ . Если на транспортном средстве несколько одинаковых деталей или узлов, то норма соответственно увеличивается.

Таким образом, для определения норм расхода запасных частей необходимы сведения по надежности деталей, интенсивности эксплуатации и сроку службы транспортного средства до списания.

Помимо номенклатуры, устанавливаются стоимостные нормы расхода запасных частей: суммарные — на эксплуатацию и ремонт в рублях на год эксплуатации и на техническое обслуживание и ремонт (руб./ 1000 км пробега).

Они служат для контроля и планирования затрат на запасные части при эксплуатации автомобилей на АТП.

### Контрольные вопросы

1. Какие нормативы используются в технической эксплуатации транспортных средств?
2. Какие показатели используются при нормировании ресурсов?
3. В чем заключается технико-экономический метод определения рационального режима технического обслуживания?
4. Назовите особенности технико-экономического метода определения периодичности технического обслуживания.



## 9 СИСТЕМА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Необходимость поддержания высокого уровня работоспособности требует, чтобы большая часть отказов и неисправностей была предупреждена, т.е. работоспособность изделия была восстановлена до наступления отказа. Поэтому задача ТО состоит, главным образом, в предупреждении возникновения отказов и неисправностей, а ремонта — в их устранении (восстановлении работоспособности).

В РФ ТО и ремонт автомобилей так же, как и других машин и механизмов, производится на плановой основе, представляющей собой систему ТО и ремонта, которая состоит из комплекса взаимосвязанных положений и норм, определяющих порядок проведения работ по ТО и ремонту с целью обеспечения заданных показателей качества автомобилей в процессе эксплуатации.

Эффективность работы автомобильного транспорта базируется на надежности подвижного состава, которая в процессе его производства, эксплуатации и ремонта обеспечивается:

- совершенством конструкции и качеством изготовления;
- своевременным и качественным выполнением технического обслуживания (ТО) и ремонта;
- своевременным обеспечением и использованием нормативных запасов материалов и запасных частей высокого качества и необходимой номенклатуры;
- соблюдением государственных стандартов и Правил технической эксплуатации.

Техническим обслуживанием является комплекс операций по:

- поддержанию подвижного состава в работоспособном состоянии и надлежащем внешнем виде;
- обеспечению надежности и экономичности работы, безопасности движения, защите окружающей среды;
- уменьшению интенсивности ухудшения параметров технического состояния; предупреждению отказов и неисправностей, а также выявлению их с целью своевременного устранения.

Техническое обслуживание является профилактическим мероприятием, проводимым принудительно в плановом порядке, как правило, без разборки и снятия с автомобиля агрегатов, узлов, деталей.

Ремонтом является комплекс операций по восстановлению исправного или работоспособного состояния, ресурса и обеспечению безотказности работы подвижного состава и его составных частей. Ремонт выполняется как по потребности после появления неисправного состояния, так и принудительно по плану, через определенный пробег или время работы подвижного состава. Второй вид ремонта является планово-предупредительным.

Среди факторов, определяющих эффективность технической эксплуатации, весомость системы ТО и ремонта составляет значительную часть.

К главным подфакторам системы ТО и ремонта относятся:

- степень выполнения рекомендаций и нормативов;
- обоснованность нормативов;
- технология и организация ТО и ремонта;
- обеспечение рабочих мест и исполнителей рациональной нормативно–технологической документацией;
- адаптация инженерно–технической службы к изменению конструкции автомобилей, условиям эксплуатации.

Разработка системы ТО и ремонта автомобилей является сложной и трудоемкой научно–практической задачей, состоящей из ряда этапов, и является результатом теоретических и экспериментальных исследований, критического обобщения уже имеющегося отечественного и зарубежного опыта, учета традиций, прогноза развития конструкции и надежности автомобилей.

Принципиальные основы системы, техническая политика, структура системы и базовые нормативы разрабатываются на том или ином уровне централизованно:

- на государственном отраслевом уровне (в России),
- на уровне крупных транспортных объединений и компаний (США, Германия);
- на уровне производителей (фирменные системы).

В зависимости от условий эксплуатации, уровня организации (метода управления, квалификации персонала, учета) предприятия вносят в нормативы системы коррективы и уточнения.

Принципиальные основы системы организации ТО и ремонта и ряд необходимых для этого нормативов регламентировались в нашей стране государственными документами.

В 1933 г ЦУДОТРАНСОм при СНК СССР была разработана и утверждена планово-предупредительная система ремонтов (СППР), в которой впервые были регламентированы виды ТО (№0 – ежедневное, №1, №2 и №3) и ремонта, а также их трудоемкости для «новых» и «старых» автомобилей.

В 1940 г Народным комиссариатом автомобильного транспорта РСФСР на основе обобщения опыта эксплуатации и проведенных исследований была предложена система профилактического обслуживания, которая в виде Положения о профилактическом обслуживании автомобилей была утверждена в 1943 г. В дальнейшем этот документ совершенствовался, корректировался с учетом изменения конструкции и надежности автомобилей, опыта эксплуатации и других факторов.

Это было важнейшим этапом развития системы ТО и ремонта, так как на государственном уровне признавалась и закреплялась в виде нормативов согласованная оценка фактического технического уровня и надежности производимых и эксплуатируемых в стране автомобилей. В этом документе впервые была дана классификация условий эксплуатации и рекомендованы методы корректирования нормативов в зависимости от этих условий.

Важным этапом, повышающим роль потребителей автотранспортной техники, являлось создание сети опорных автотранспортных предприятий. На этих производственных предприятиях организовались научно–производственные подразделения – лаборатории надежности автомобилей, которые в реальных условиях эксплуатации собирали объективную информацию о фактической надежности и показателях качества автомобилей, характерных отказах и неисправностях и их причинах, расходе запасных частей и материалов. Полученные данные позволили, во–первых, предъявлять обоснованные требования промышленности, сопоставлять заявленные и фактические показатели, во–вторых, разрабатывать нормативы ТО и ремонта, в–третьих, разрабатывать конкретные предложения по совершенствованию самой технической эксплуатации.

Одновременно был разработан и утвержден ряд государственных стандартов, закрепляющих и развивающих принципы системы ТО и ремонта техники, не потерявших свое принципиальное значение до настоящего времени.

Принципиальные основы организации и нормативы ТО и ремонта регламентируются в нашей стране “Положением о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта.

В положении о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта, утвержденного в 1984 г:

- была закреплена и развита практика согласованной оценки производителями и потребителями уровня производимой и применяемой в стране автомобильной техники;

- получила дальнейшее развитие система ресурсного и оперативного корректирования нормативов технической эксплуатации с учетом реальных условий эксплуатации;

- предложена гибкая схема оперативного учета изменений конструкции, показателей надежности и условий эксплуатации.

С этой целью предусматривалось функционирование двух частей Положения.

Первая часть, содержащая основы технического обслуживания и ремонта подвижного состава, определяет систему и техническую политику по данным вопросам на автомобильном транспорте. В первой части были установлены:

- система и виды технического обслуживания и ремонта, а также исходные нормативы, регламентирующие их;

- классификация условий эксплуатации и методы корректирования нормативов;

- принципы организации производства технического обслуживания и ремонта подвижного состава и другие основополагающие данные.

Вторая часть включает нормативы по моделям конкретных семейств автомобилей. Она разрабатывалась в виде отдельных приложений к первой части, по мере изменения конструкции автомобилей, условий эксплуатации и других факторов, приводящих к отклонению фактических нормативов от исходных, установленных первой частью Положения.

Таким образом, создавалась современная гибкая система управления работоспособностью и техническим состоянием автомобильных парков с обратной связью, итеративным и обоснованными методами принятия и реализации решений.

Основой технической политики, определяемой Положением, является планово–предупредительная система технического обслуживания и ремонта, которая представляет собой совокупность средств, нормативно-технической документации и исполнителей, необходимых для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава.

Планово-предупредительный характер системы технического обслуживания и ремонта определяется плановым и принудительным (через установленные приемы или промежутки времени работы подвижного состава) выполнением контрольной части операций с последующим выполнением по потребности исполнительской части.

Основой системы ТО и ремонта являются ее структура и нормативы. Структура системы определяется видами (ступенями) соответствующих воздействий и их числом. Нормативы включают конкретные значения периодичности воздействий, трудоемкости, перечни операций.

Структура системы ТО и ремонта определяется: уровнем надежности и качества автомобилей; целью, которая поставлена перед автомобильным транспортом и ТЭА; условиями эксплуатации; имеющимися ресурсами; организационно–техническими ограничениями.

Главными факторами, определяющими эффективность системы ТО и ремонта, являются правильно определенные перечни (что делать) и периодичность (когда делать) профилактических операций, затем количество видов ТО и их кратность (как организовать выполнение совокупности профилактических операций), методы корректировки нормативов и определение расчетных ресурсов до капитального ремонта.

В России получила распространение двухступенчатая система ТО, включающая: ежедневное обслуживание (ЕО), первое и второе техническое обслуживание (ТО–1, ТО–2), сезонное обслуживание (СО).

Ежедневное обслуживание включает контроль, направленный на обеспечение безопасности движения, а также работы по поддержанию надлежащего внешнего вида, заправку топливом, маслом и охлаждающей жидкостью, а для некоторых видов подвижного состава — санитарную обработку кузова.

ТО–1 и ТО–2 включают контрольно–диагностические, крепежные, регулировочные, смазочные и другие работы, направленные на предупреждение и выявление неисправностей, снижение интенсивности ухудшения параметров технического состояния подвижного состава, экономию топлива и других эксплуатационных материалов, уменьшение отрицательного воздействия автомобилей на окружающую среду.

Сезонное техническое обслуживание проводится 2 раза в год и включает работы по подготовке подвижного состава к эксплуатации в холодное и теплое время года.

В соответствии с назначением, характером и объемом выполняемых работ ремонт подразделяется на капитальный (КР) и текущий (ТР).

КР подвижного состава, агрегатов и узлов, предназначен для восстановления их исправности и восстановления ресурса близкого к полному (не менее 80%). КР подвижного состава, агрегатов и узлов, производится на специализированных ремонтных предприятиях, как правило, обезличенным методом, предусматривающим полную разборку объекта ремонта, дефектацию, восстановление или замену составных частей, сборку, регулировку, испытание.

Агрегат направляется в КР, если базовая и основные детали требуют ремонта с полной разборкой агрегата или работоспособность агрегата не может быть восстановлена, а так же если ее восстановление экономически нецелесообразно путем проведения ТР.

ТР предназначен для обеспечения работоспособного состояния подвижного состава с восстановлением или заменой отдельных его узлов и деталей (кроме базовых), достигших предельно допустимого состояния.

Условия эксплуатации оказывают существенное влияние на режимы работы, нагрузки и уровни работоспособности автомобилей и, как следствие, на потребности в ТО и ремонте, изменяя нормативы технической эксплуатации.

Следует различать:

- внешние объективные условия (тип дороги, покрытия, природно-климатические условия и др.), которые действуют на все автомобили данного предприятия, компании или расположенные в конкретном регионе;
- субъективные по отношению к конкретному автомобилю условия (квалификация водителя и ремонтного персонала, условия перевозок и др.).

Поэтому рекомендуемые или исходные нормативы обычно относят к так называемым эталонным условиям. При работе в иных, отличных, условиях эксплуатации, изменяются безотказность и долговечность автомобилей, а также трудовые и материальные затраты на обеспечение работоспособности. Поэтому нормативы ТО и ремонта корректируются.

Корректировка нормативов производится в зависимости от категории условий эксплуатации модификации подвижного состава, природно-климатических условий, пробега автомобиля с начала эксплуатации, уровня концентрации подвижного состава. Результирующий коэффициент корректирования нормативов получается перемножением отдельных коэффициентов.

### **Контрольные вопросы**

1. Чем определяется структура технического обслуживания и ремонта?
2. Какая система технического обслуживания реализована в России в настоящее время?
3. В чем заключается преимущество планово-предупредительной системы технического обслуживания и ремонта подвижного состава?

## 10 НАДЕЖНОСТЬ ВОДИТЕЛЯ

По-прежнему решающее воздействие на уровень аварийности в стране продолжают оказывать водители автотранспортных средств.

По вине водителей ДТП происходят не только потому, что у него имеются некоторые дефекты здоровья, но и из-за недостатков в психологической и психофизиологической сферах.

В современном дорожном движении роль психологических факторов чрезвычайно высока.

Нет конкретных данных о связи этих свойств водителей с риском их вовлечения в ДТП, однако общеизвестный показатель (70–80% ДТП по вине водителя) дает достаточные основания для привлечения внимания к этому вопросу.

Существуют отдельные виды перевозок (общественный транспорт, перевозка опасных грузов и др.), где применение более детальной, чем просто медицинская, оценки профессиональной пригодности водителя является крайне важной.

Наибольшее количество дорожно-транспортных происшествий происходит по вине неопытных водителей со стажем управления транспортным средством менее двух лет. Наивысшая тяжесть последствий зарегистрирована в ДТП по вине водителей со стажем управления транспортным средством 5 лет (таблица 10.1).

Водитель занимает особое место в системе ВАДС. Ему одному присущи такие, подчас противоречивые, свойства и факторы, имеющие непосредственное отношение к обеспечению надежности профессиональной деятельности, как:

- приобретение навыков в процессах самообучения (сравнительно медленного накопления опыта) и обучения (более быстрого и эффективного формирования знаний и умений);
- способность к анализу своей деятельности, обобщению накапливаемых знаний, наблюдений, опыта;
- память — способность запоминать, сохранять и воспроизводить не только информацию, но и навыки;
- умышленные действия, увеличивающие опасность вовлечения в тяжелые отказы (ДТП);
- повторение одних и тех же ошибок, статистически устойчивое, нарушение одних и тех же правил, например, поведения на дороге;
- адаптация к различным условиям деятельности, состояниям элементов системы ВАДС;
- наличие опасной разновидности адаптации — привыкания к опасности, притупления бдительности;
- умение в одних случаях компенсировать отказы элементов системы ВАДС изменением своих действий, в других, наоборот — создавать те или иные отказы в системе;
- наличие сбоев в деятельности;

– существование инстинктивных действий, рефлексов, подсознательной деятельности;

– создание в дополнение к отказам, обусловленным такими причинами, как утомление, болезни, возрастные факторы, отказов, обусловленных употреблением алкоголя, самолечением (лекарствами).

Таблица 10.1 — Распределение количества ДТП по вине водителей транспортных средств по их стажу

Водительский стаж	Кол-во ДТП	% от общего количества ДТП по вине водителей	Тяжесть последствий ДТП
До 2 лет	46646	45,6	12,9
3 года	7385	7,2	13,3
4 года	5563	5,4	13,0
5 лет	6802	6,6	15,1
6 лет	4087	4,0	14,5
7 лет	3531	3,5	14,7
8 лет	3677	3,6	14,1
9 лет	2539	2,5	14,5
10 лет и более	22078	21,6	14,5

## 10.1 Функции водителя

Водитель — элемент системы ВАДС, осуществляющий управление автомобилем и участвующий в поддержании его в работоспособном состоянии, т. е. обеспечении эксплуатационной надежности.

Главная задача водителя — управление автомобилем и контроль за его работой. Поэтому водитель — это один из представителей “профессии XXI века” — человека — оператора. Тенденции развития автомобилей таковы, что физический труд по управлению ими становится все меньше, а на первое место выдвигаются повышенные требования к восприятию, мышлению, управляющим воздействиям, к надежности профессиональной деятельности водителя в условиях высокой нервно-эмоциональной напряженности.

При работе водителя возникают отказы, в том числе предельно опасные — ДТП, угрожающие самому существованию водителя, автомобиля, окружающих людей.

Из всех видов транспорта автомобильный является наиболее опасным.

Объясняется это рядом причин, среди которых:

– постоянное взаимодействие систем ВАДС в транспортных потоках (по данным статистики, число ДТП, в которых участвует два и более автомобиля, в 4–5 раз больше, чем число ДТП с одиночным автомобилем);

– большее рассеяние личностных качеств и состояния водителей по сравнению с летчиками или машинистами.

ДТП приходится рассматривать как единичный отказ, обусловленный тем, что водитель попадает в экстремальную ситуацию. В условиях большого

города, плотных транспортных потоков число ситуаций, близких к аварийным, может достигать до 4–5 в час. Тем не менее, благодаря высокой надежности водителя аварийные ситуации в редких случаях заканчиваются ДТП.

Для характеристики ДТП как отказа представляют интерес следующие наблюдения (США). Большие выборки (до 30 тыс. чел.) водителей, совершивших ДТП за первые три года работы, наблюдались в последующие три года. Оказалось, что на долю злостных нарушителей (два и более ДТП) за первые три года в последующее трехлетие пришлось всего 4 % ДТП. Если же учитывать всех нарушителей за первое трехлетие, то их число составило 21 % от общего числа совершивших ДТП в последующие три года. Таким образом, можно считать, что одна и та же система ВА не совершает повторных отказов, т. е. подобна невозстанавливаемому изделию, а сами отказы можно относить к числу несистематических. Об этом же свидетельствует и еще один вывод: существует слабая корреляционная связь между возникновением ДТП и устойчивыми человеческими характеристиками водителя: остротой зрения, временем реакции, сенсорными, психомоторными, познавательными, поведенческими характеристиками.

Причины ДТП как отказов, обусловленных действиями водителя, следует искать в особенностях его профессиональной деятельности, определяющих надежность водителя.

## **10.2 Особенности профессиональной деятельности**

Между двумя основными участниками дорожного движения (человеком — пешеходом и человеком — водителем) есть существенное различие: когда человек становится водителем, то он попадает в условия, генетически не свойственные человеку.

Главным фактором здесь является увеличение скорости движения в 10 и более раз по сравнению со скоростью пешехода. Это ведет к повышению скорости поступления информации, с которой должен справляться “сенсорный вход” человека (его органы чувств), скорости ее переработки — принятия и реализации решения, с которыми должен справляться “моторный выход” человека (его двигательные реакции).

Водитель в транспортном потоке, в отличие от пешехода, вынужден действовать в навязанном ему темпе, без возможностей остановиться, при необратимости принимаемых им решений и тяжелых последствиях ошибок. Поэтому нельзя считать случайным, что первое место среди причин ДТП занимает превышение водителем скорости движения, допустимой или целесообразной при данных условиях.

Человек — водитель несет ответственность за периметр своего транспортного средства, который может превышать периметр тела человека в 10 и более раз. Человек — водитель почти лишен средств общения, и для него стерты индивидуальные особенности других водителей.

Человек — пешеход при ходьбе выполняет естественные движения, а для человека — водителя типичны однообразные рабочие движения с уме-



ренной физической нагрузкой при вынужденной малоподвижной позе, в которой он пребывает все часы работы. Эти и другие отличия водитель должен преодолеть или адаптироваться к ним в процессе обучения и накопления профессиональных навыков и опыта.

Дорожное движение — это непрерывное возникновение групп из систем ВАД и ПД (пешеход – дорога), участники которых случайны, а действия их взаимосвязаны, взаимообусловлены, требуют слаженности и взаимопонимания.

Основная информация (до 95 %) поступает к водителю по зрительному каналу. Поле зрения водителя меняется и зависит от плотности транспортного потока и скорости движения. Считается, что водитель в состоянии наблюдать на расстоянии до 600 м, если местность открытая, а интенсивность движения малая. В условиях городских улиц это расстояние падает в 10 и более раз.

Водитель может сосредотачивать внимание на каком-либо одном факторе, учитывая остальные, одновременно происходящие явления, лишь в той или иной степени. Большое значение имеет скорость движения, ее увеличение уменьшает зону сосредоточения взгляда водителя. При скорости 20 км/ч угол зрения водителя в горизонтальной плоскости составляет  $\pm 18^\circ$ , а при скорости 80 км/ч уменьшается до 4–5°. Это обуславливает снижение надежности водителя, поскольку для него возрастает вероятность неожиданного изменения дорожной ситуации.

Подобный результат дает и увеличение плотности транспортного потока, когда слежение за идущим впереди автомобилем может в значительной степени поглощать внимание водителя.

Считается, что восприятие объектов, выбранных водителем, начинается с беглого их осмотра, что дает примерно 15 – 20% возможной информации, с последующим поочередным сосредоточиванием на каждом из них уже с детальным распознаванием, дающим еще 70 – 80 % информации. На этой основе водитель строит для себя динамическую модель дорожно-транспортной ситуации (ДТС).

Время, которое уделяет водитель объекту, входящему в динамическую модель ДТС, и, соответственно, своя скорость переработки информации индивидуальны. Водитель может увеличивать время на создание модели и ее детализацию, уменьшая скорость движения. Однако этой возможностью водители пользуются далеко не всегда. Это одна из причин, по которой ДТП чаще всего обусловлены превышением действительной скорости над требуемой по условиям безопасности движения скоростью.

Недопустимые скорости движения, особенно при переходе с лучшего участка на худший участок, связаны также с так называемой психологической инерцией водителя. Она проявляется в том, что водитель при изменении условий движения упускает тот переходный период, когда надо снизить скорость движения, изменить ее режим.

Данные статистики ДТП показывают, что значительная их часть происходит при ясной, сухой погоде, на дороге, мало загруженной транспортом;

на крутых поворотах, например, число ДТП составляет всего 0,6% (остальное на прямых участках дороги); в снегопад совершается всего 3,5% ДТП, а в туман — 0,1%. Но в темное время суток, когда у некоторых водителей объективно ухудшается зрение и одной бдительности недостаточно, число ДТП увеличивается до 20 %.

Движение в транспортных потоках высокой плотности является другой крайностью. Водитель находится в режиме высокой бдительности, готовности к немедленным действиям. Как следствие, время реакции, например, сокращается вдвое. Однако ожидание аварийной ситуации может вызывать чувство тревоги, так называемую эмоцию тревожного ожидания, которая, в конце концов, приводит к сильному нервному утомлению.

Естественно, что избыток информации о ДТС снижает надежность водителя: он не успевает охватить ситуацию, осмыслить информацию, принять правильное решение. Все это повышает вероятность появления отказа.

Психологи считают, что при обоих крайних состояниях водителя, дремотном или повышенной бдительности, быстрая смена развивающихся событий, ведущая к ДТП, воспринимается водителем как неожиданность.

Приходится считаться еще с одной особенностью водителя: вероятность того, что данные водителю указания, включая и обязательные, будут приняты и выполнены, как правило, меньше единицы. Например, приведенная в Швеции проверка установила, что 50 % водителей пользовались ремнями безопасности. После того как было установлено бесспорное преимущество ремней безопасности, с одной стороны, и высокое число ДТП в стране — с другой, был принят закон об обязательном пользовании ремнями безопасности. Проведенная через некоторое время проверка показала, что число водителей, фактически пользующихся ремнями, составило около 80 %.

Особенность водителя как оператора заключается в одновременном управлении несколькими контурами с обратными связями:

- траекторией автомобиля;
- скоростью или дистанцией до впереди идущего автомобиля;
- наблюдением за внешним сенсорным пространством с соответствующим компенсационным воздействием;
- наблюдением внутри автомобиля с компенсацией поступающих воздействий.

Одновременно выполнение различных видов деятельности, объединенных общей задачей движения автомобиля в потоке, требует так называемого рассеянного внимания. С психофизиологической точки зрения оно связано с концентрацией процесса раздражения в нескольких функциональных системах мозга. Даже при прочно выработанных навыках такая работа требует большого нервного напряжения. Доминирующая роль внешнего сенсорного пространства является важной особенностью водительской деятельности.

Для водителя автомобиля роль внутреннего сенсорного поля очень невелика — показания спидометра являются той информацией, которая иногда бывает нужна для оценки ДТС. Основную информацию водитель получает извне, из пространства, окружающего автомобиль спереди, сзади, с боков,

снизу, сверху. Перекодировать эту информацию не нужно, но возникает своя трудность — выделить из этого потока информации то, что важно в данных условиях при построении модели дорожной обстановки для своей системы ВАДС и конкретной среды движения.

Установлено, что в условиях крупного города водитель попадает в условия “сенсорной бомбардировки”, при которой воспринимает 3 – 4 раздражителя в минуту в среднем и до нескольких десятков раздражителей предельно. Важно, что в их числе может быть 4 – 5 раздражителей в час, обусловленных ситуациями, близкими к аварийным, когда вероятность возникновения ДТП составляет 5 % и более.

Работа водителя в современном автомобиле отличается малыми и умеренными физическими нагрузками при высоком эмоциональном напряжении.

Еще одной важнейшей особенностью водительской деятельности является то, что характеристики личностных качеств управляющих действий водителя не могут быть в точности предсказуемы, и их оценки должны носить вероятностный характер. Это относится как к отдельному водителю, так и к их совокупности.

Как различны водители, так неодинаковы и создаваемые ими модели одной и той же дорожно-транспортной ситуации (ДТС). Чем опытнее и наблюдательнее водитель, тем полнее создаваемая им модель; она лучше учитывает динамику (изменение ДТС), более прогностична, а водитель больше застрахован от неожиданностей и в большей степени является хозяином ситуации.

Модель ДТС, которую строит водитель в своем сознании, динамическая; она меняется по мере движения автомобиля, отражая изменения в самой системе ВАДС и в окружающей ее среде движения. В этой, лимитированной по времени, деятельности, водитель должен не только замечать, выделять нужную ему информацию, но также, опираясь на оперативную память, запоминать текущие события, связывать их в единую цепочку с только что происшедшими и подготавливать их связь с непосредственно надвигающимися, т. е. “склеивать всякое предыдущее со всяким последующим”.

Водителю присущи свои, характерные для него, ошибки, приводящие к ДТП. Деятельность водителя можно рассматривать как совокупность четырех этапов: выделение источника информации, его оценка, принятие решения, его реализация (моторные действия). Если каждый из этих этапов сформулировать в виде вопроса, то на него может быть дано три ответа: да, нет, ошибочно.

Анализ, проведенный в соответствии с приведенной схемой, показал, что в основном причинами ДТП были незамеченная информация (49 %) или замеченная, но неверно истолкованная (41 %).

Профессия водителя относится к числу “острых”, предъявляющих высокие требования к эмоционально-волевым качествам личности, к основным нервным процессам человека и, в первую очередь, к подвижности и силе процессов возбуждения и торможения. Стрессовые состояния в аварийных и близких к ним ситуациях могут возникать случайно, неожиданно при попа-

дании в аварийную обстановку или в ожидании ее. Такие же состояния встречаются и у водителей, профессия которых (испытатели, спортсмены) предполагает возможность их возникновения.

В большинстве случаев эмоциональный стресс у опытного водителя не возникает, а если и появляется, то не приводит к отказам системы ВАДС. Отказ не возникает благодаря умению водителя не попадать в критические ситуации, своевременно оценивая ДТС и прогнозируя ее развитие, а также благодаря опыту, позволяющему действовать уверенно и быстро, поскольку используются готовые, испытанные ранее приемы, навыки сохранять способность оценивать, думать, решать и действовать в новых, не встречавшихся ранее ситуациях.

Тем не менее, роль профессиональной подготовки и опыта не должна переоцениваться при действиях водителя в стрессовых ситуациях. Об этом свидетельствует не только статистика ДТП, согласно которой виновниками ДТП являются также водители с большим стажем и опытом работы. Нагрузка, которая ложится на психику водителя в стрессовой ситуации, — это нагрузка на функциональные нервные образования, которые у каждого конкретного человека имеют свой диапазон активности и предел работоспособности. Поэтому эмоциональный стресс у разных водителей в одинаково неблагоприятных условиях не дает ощутимых последствий в одних случаях и приводит к ошибкам и ДТП в других.

Важной особенностью, основополагающей для оценки надежности водителя, является то, что это обычный человек, пусть и попадающий в необычные условия. Считается, что водителем может стать каждый человек средних способностей с практически удовлетворительным здоровьем. Основания для такого утверждения имеются.

Положение, что водителем–любителем может быть каждый, не предполагает ни тщательного психологического отбора кандидатов в водители, ни периодических, жестко регламентированных проверок здоровья водителей, позволяющих постоянно контролировать их состояние. Поэтому люди в системе ВАД и особенно ПД, взаимодействующие в дорожном движении, отличаются самым широким сочетанием личностных данных, пола, возраста, квалификации и опыта. Исследования профессиональных водителей показывают, что встречаются нарушения режима труда и отдыха, и поэтому надо считаться с наличием участников дорожного движения с различной степенью утомления, а иногда и алкогольного опьянения.

Обобщенная медико-гигиеническая оценка условий труда водителя, определяющая состояние его здоровья и работоспособность, подчеркивает нервно–эмоциональную напряженность, ограниченную двигательную нагрузку (гипокинезию), повышенные требования к сенсорным, интеллектуальным, моторным (двигательным) функциям человека, а также сочетание воздействий шума, вибрации, неблагоприятного микроклимата и токсичных веществ.

Понятие “надежность водителя” можно определить по-разному. При определении этого понятия в инженерной психологии исходят из надежности человека–оператора.

**Надежность водителя** определяется его способностью безошибочно управлять автомобилем в любых дорожных условиях в течение всего рабочего времени. К основным факторам, определяющим надежность водителя, относятся его профессиональная пригодность, подготовленность и работоспособность.

Пригодность водителей определяется состоянием здоровья (при медицинском освидетельствовании) и психофизиологическими качествами. Психофизиологическая пригодность — это соответствие психофизиологических и личностных качеств требованиям водительской деятельности. Нередко такие качества водителя, как воля, самообладание, смелость, решительность, быстрая сообразительность, скорость восприятия и реакций, решают исход аварийной ситуации. В основе этих и других, важных для надежной деятельности водителя качеств лежат особенности протекания его психических процессов.

Подготовленность водителей определяется уровнем их профессиональных знаний и навыков, которые приобретаются в процессе обучения и профессиональной последующей деятельности. Хорошая подготовка водителей выражается в наличии широкого диапазона навыков, обеспечивающих правильные и своевременные действия в критических дорожных ситуациях. Она позволяет максимально использовать технические возможности автомобиля и безошибочно, с минимальной затратой сил управлять им; правильно оценивать и своевременно предвидеть возможные изменения дорожной обстановки и предупреждать возникновение аварийных ситуаций; управлять автомобилем на больших скоростях, ночью в тумане, при высокой интенсивности движения, в горных и других сложных условиях.

Подготовленность характеризуется также уровнем психологической подготовленности водителей, т.е. формированием у них психических свойств, которые обеспечивают надежность их работы в любых условиях.

Успешность психологической подготовки зависит от методологического уровня ее проведения, активности будущих водителей в совершенствовании мастерства. Недостаточная подготовленность является наиболее частой причиной ошибок, допускаемых молодыми, неопытными водителями в критических ситуациях, которые нередко приводят к дорожно-транспортным происшествиям. Поэтому совершенствование подготовки водителей и повышение их профессионального мастерства являются важнейшими факторами обеспечения безопасности дорожного движения.

Работоспособность — это состояние человека, позволяющее ему выполнять работу с высокой производительностью и высокими качественными показателями. Высокая работоспособность имеет большое значение для обеспечения надежности водителей. При сниженной работоспособности водитель может допускать грубые ошибки при управлении автомобилем, которые нередко приводят к ДТП. Работоспособность снижается после приема

алкоголя, при заболевании, утомлении, в состоянии сильного нервного возбуждения или в угнетенном состоянии.

Сохранение высокой работоспособности водителей обеспечивается рациональной организацией их труда и отдыха, а также контролем над состоянием перед рейсом и в пути, что позволяет своевременно отстранять от управления автомобилем лиц, состояние которых создает угрозу возникновения ДТП.

Большое влияние на надежность водителей оказывают условия, в которых протекает их деятельность. К этим условиям относятся: состояние дороги и ее оборудование, уровень организации дорожного движения, интенсивность транспортных потоков и скорость движения, состояние среды движения и время суток.

При одном и том же уровне подготовленности водитель будет более надежным в простых дорожных условиях и менее надежным в сложных.

Надежность водителя зависит также от комфортабельности и технического состояния автомобиля. Конструкция кабины автомобиля, выполненная с учетом психофизиологических возможностей человека, легкость и простота управления, исправность и безотказность всех систем автомобиля повышают надежность водителя.

Таким образом, все звенья системы ВАДС взаимосвязаны и определяют друг друга. Поэтому при проектировании дорог, конструировании автомобилей, организации дорожного движения необходимо учитывать возможность водителя и создавать оптимальные условия для его работы.

Учитывая, что система ВАДС представляет собой взаимосвязанное целое и ее надежность определяются всеми ее элементами, можно определить надежность водителя несколько иначе. При этом может быть применен единообразный подход к оценке надежности автомобиля и водителя, хотя сведений о надежности водителя накоплено меньше, чем сведений о надежности автомобиля а, фактические данные обобщены в редких случаях. Количественная оценка надежности водителя — трудная задача, так как моделирование управляющих свойств водителя сопровождается рядом допущений и оговорок и возможно пока лишь для частных случаев.

Исходя из этого **надежность водителя** — это свойство сохранять параметры функционирования в пределах, обеспечивающих безопасность движения и соответствующих режимам движения и условиям использования автомобиля. Надежность водителя — это сложное свойство, определяемое более простыми свойствами: безотказностью, восстанавливаемостью, сохраняемостью, долговечностью.

**Безотказность водителя** — это свойство сохранять работоспособность в пределах установленных норм рабочего времени (рабочего дня), исчисляемого в часах. Безотказность водителя изменяется в течение рабочего дня различным образом. Например, водитель 1 в начале рабочего дня имеет более высокую вероятность  $P_g$  безотказной работы, чем водитель 2 (рисунок 10.1,а). Однако к концу рабочего дня (ко времени  $t_p$ ) эта вероятность стано-

вигается меньше допустимой  $[P_{\theta}]$  так что надежность водителя 2 оказывается более высокой.

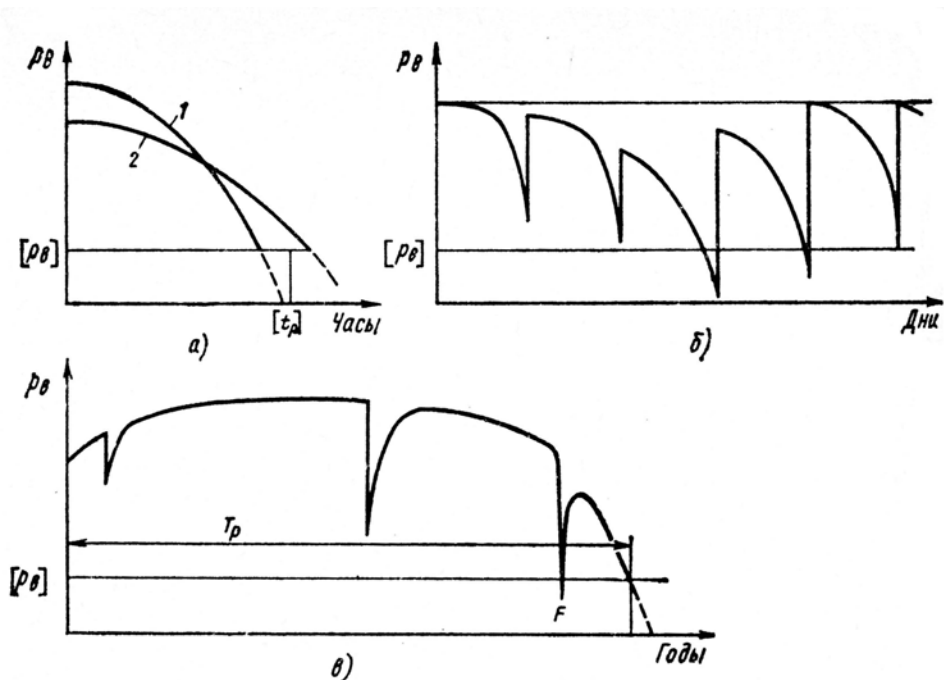


Рисунок 10.1 — Изменение вероятности безотказной работы водителя в течение: а — рабочего дня; б — недели; в — всего срока водительской деятельности.

Продолжительность рабочего дня водителя может быть различной, в качестве предельной некоторые исследователи рекомендуют продолжительность 11–12 ч.

Продолжительность рабочего дня может составлять 12 ч и более у водителей, занятых на междугородных перевозках, у водителей такси, автобусов.

По психофизиологической оценке состояния водителей, первые 1,5–2,5 ч работы происходит “вработываемость” организма, после которой наступает период наивысшей работоспособности. В период вработываемости вероятность безотказной работы водителя понижена. Водители могут неправильно оценивать уровень своей работоспособности, совершать рискованные маневры.

Первые признаки снижения работоспособности появляются через 4–5 ч и, постепенно нарастая, становятся значительными после 6–8 ч работы. За счет компенсаторных механизмов организма определенный уровень работоспособности поддерживается до 9–10 ч работы. После этого компенсаторные возможности организма иссякают и происходит быстрое снижение работоспособности до уровня, недопустимого с точки зрения безопасности движения, или появляется сонливость.

Эта общая схема видоизменяется в зависимости от ряда причин: возраста и состояния здоровья водителя, чередования работы и отдыха, вида

транспортного средства, фактического времени пребывания за рулем автомобиля (например, обследование показало, что водитель грузового автомобиля, работающего в городе, был занят вождением фактически 5,5 ч, а водитель такси 23 % рабочего времени провел в ожидании пассажиров на стоянке).

Косвенные последствия изменения безотказности работы водителя на протяжении рабочего дня видны при изучении статистики ДТП.

При управлении автомобилем в течение 7–12 ч водители совершают ДТП (вследствие засыпания) примерно в 2 раза чаще, чем при длительности работы до 7 ч. При пребывании за рулем свыше 12 ч число ДТП по той же причине увеличивается в 9 раз.

**Восстанавливаемость** — это свойство водителя восстанавливать свою работоспособность после установленных перерывов в деятельности.

Восстанавливаемость имеет большое значение для обеспечения надежности деятельности профессиональных водителей.

Продолжительность пребывания водителя на рабочем месте свыше 10 ч — явление не столь редкое. К этому надо добавить время на ежедневное обслуживание своего автомобиля. Фактические затраты времени превышают 1 час у 14% водителей. Если учесть затраты времени на дорогу, то на сон и отдых водителя может остаться недостаточно времени. Исследования показывают, что у половины водителей продолжительность сна не превышает 7 часов, каждый четвертый спит перед сменой менее 6 часов, а иногда продолжительность сна снижается до 4,5–5 ч.

Неполноценный отдых сказывается на уровне безотказности водителя в следующий рабочий день: почти у половины отмечается появление сонливости во время вождения; водители, спящие перед сменой менее 6 ч, отмечают снижение внимания к концу смены в 2,5 раза чаще, чем при продолжительности сна 8 часов.

Недостаточное восстановление работоспособности, естественно, отражается на вероятности безотказной работы водителей: число ДТП у водителей, которые не отдохнули полноценно в выходной день, оказалось на 41 % выше, чем у водителей, чувствовавших себя хорошо отдохнувшими. Последствия недостаточного отдыха подтверждаются и данными статистики: 60 % водителей с остаточным утомлением засыпают при управлении автомобилем уже через 3,5 ч. Важно, что даже сокращение продолжительности рабочего дня не избавляет их от преждевременного утомления, если отдых накануне не был полноценным.

Отмечается также, что восстанавливаемость работоспособности водителя, при прочих равных условиях, в различные дни недели неодинакова: при работе в одну смену в первые дни недели она меньше - происходит “вработываемость” организма, подобно тому, как это наблюдается в течение рабочего дня.

Примерные кривые изменения вероятности безотказной работы водителя в течение недели при ежедневной работе в одну смену и неиспользование обеденного перерыва (по данным обследования, в 26 % обеденный перерыв продолжается менее 0,5 ч) приведены на рисунке 10.1, б. Неполноцен-



ный отдых в третий день недели вызвал опасное снижение работоспособности на следующий день к концу рабочей смены.

**Профессиональная долговечность** — свойство водителя сохранять работоспособность до наступления предельного состояния (выход на пенсию, переход на другую работу) с необходимыми перерывами, обусловленными условиями отдыха, трудовой деятельности. Таким образом, долговечность водителя относится к времени функционирования  $t_p$ , исчисляемому обычно в годах (рисунок 10.1, в).

Момент наступления предельного состояния, т. е. величину профессиональной долговечности [ $t_p$ ] устанавливает часто сам водитель. Если он считает, что оно наступило, то прекращает работу и меняет профессию, иногда задолго до пенсионного возраста.

Показатели профессиональной долговечности водителей представляют большой практический интерес: чем выше профессиональная долговечность водителя, тем лучше обеспечено АТП водительскими кадрами, тем меньше число случаев простоя автомобилей из-за отсутствия водителей. Кроме того, низкая профессиональная долговечность водителей — верный признак большой текучести водительских кадров на предприятии, сигнал о том, что организация эксплуатации на АТП и труда водителя нуждается в улучшении.

Поскольку профессиональная долговечность водителя определяется не только возрастом, но также организацией эксплуатации и условиями водительского труда, она может быть неодинаковой на различных АТП.

На предприятиях можно влиять на профессиональную долговечность водителей, учитывая особенности подвижного состава и перевозок.

Следует отметить, что высокая долговечность водителей на АТП должна обеспечиваться соответствующими условиями их профессиональной деятельности. В противном случае может расти аварийность. Так, одно обследование показало, что число ДТП у водителей в возрасте 50–59 лет оказалось в 2 раза выше, чем у водителей в возрасте до 24 лет. Такой результат не удивителен, так как водители старшего возраста, имея в большинстве случаев более высокий класс вождения, были интенсивнее загружены.

**Сохраняемость** — свойство водителя сохранять параметры функционирования после длительных перерывов в трудовой деятельности. Хорошая сохраняемость водительских качеств более важна для владельцев индивидуальных автомобилей, имеющих в среднем малые (до 10–12 тыс. км) среднегодовые пробеги и значительные перерывы в вождении.

Перерывы трудовой деятельности, обусловленные болезнями, наблюдаются у водителей всех категорий. После длительных перерывов в вождении происходит незаметная для водителя потеря профессиональных навыков в управлении или их дестабилизация (точка  $F$  на рисунке 10.1, в).

### **10.3 Обеспечение профессиональной надежности водительского состава**

С целью повышения надежности водителей транспортных средств в настоящее время предусмотрена система государственных требований, обеспечивающих профессиональную надежность водительского состава.

Эти требования регламентируют деятельность предприятий, организаций и предпринимателей, занимающихся перевозкой грузов и пассажиров по следующим направлениям:

- прием водителей на работу и допуск их к осуществлению перевозок;
- стажировка водителей;
- поддержание и контроль состояния здоровья водителей в процессе их трудовой деятельности;
- поддержание необходимого уровня информативности;
- повышение профессионального мастерства и дисциплинированности водителей.

#### **10.3.1 Прием водителей на работу и допуск их к осуществлению перевозок**

Лицо, претендующее на работу в организации в качестве водителя, может быть принято на эту работу при условии:

- наличия у него водительского удостоверения на право управления транспортным средством соответствующей категории;
- наличия документа о прохождении в установленные сроки медицинского освидетельствования;
- соответствия его квалификации, опыта работы и иных профессиональных характеристик требованиям, установленным для конкретного вида перевозок.

С целью проверки соответствия водителя поручаемой ему работе по безопасному осуществлению конкретного вида перевозок он может быть принят на работу с испытательным сроком в соответствии с действующим законодательством о труде.

Организация осуществляет учет данных о квалификации водителя, общем стаже его водительской деятельности и на определенных типах транспортных средств, сроках прохождения медицинского освидетельствования, об участии в дорожно – транспортных происшествиях, допущенных нарушениях Правил дорожного движения, фактах лишения права управления транспортным средством, отстранения от работы на линии из-за алкогольного опьянения или последствий алкогольной интоксикации, перерывах в водительской деятельности, работе по совместительству.

Лица, впервые нанимаемые на работу в качестве водителя после окончания учебы, а также водители, имевшие перерыв в водительской деятельности более одного года, водители, назначаемые для работы на горных маршрутах, а также водители, переведенные на новый тип транспортного сред-

ства или новый маршрут перевозок пассажиров, к управлению транспортными средствами допускаются после прохождения стажировки.

### **10.3.2 Стажировка водителей**

Организация с целью подготовки водителей к самостоятельной работе обязана обеспечить проведение стажировки лиц, перечисленных выше.

Продолжительность стажировки, объемы и содержание определяются в зависимости от стажа работы и срока перерыва в работе, типа транспортного средства, категории маршрута (городской, пригородный, междугородный, горный) в соответствии с действующими нормативными документами.

Стажировка водителей должна проводиться в реальных условиях движения, при осуществлении регулярных пассажирских перевозок только на тех типах транспортных средств и на тех маршрутах, на которых водитель в дальнейшем будет работать самостоятельно. Проведение стажировки обеспечивается собственными силами организации или путем заключения договоров на проведение стажировки.

Стажировка должна производиться под руководством водителя — наставника, назначаемого приказом по организации, или иного лица, с которым заключен договор на проведение стажировки, имеющего свидетельство (лицензию) на право стажировки водителей.

После завершения водителем стажировки должно быть оформлено заключение о допуске его к самостоятельной работе с указанием типа транспортного средства и маршрутов перевозки или дан мотивированный отказ в выдаче допуска. Заключение хранится в личном деле водителя.

Водитель, не получивший допуск к управлению транспортным средством после прохождения стажировки, переводится с его согласия на другие работы, при невозможности перевода он подлежит увольнению в соответствии с действующим законодательством о труде.

### **10.3.3 Поддержание и контроль состояния здоровья водителей в процессе их трудовой деятельности**

Организация обеспечивает прохождение водителями обязательного периодического медицинского освидетельствования в сроки, устанавливаемые Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации.

Руководитель организации имеет право в случае сомнения в состоянии здоровья водителя направить его на медицинское освидетельствование ранее установленных сроков.

В организации должен осуществляться контроль за соблюдением сроков прохождения периодических медицинских освидетельствований.

Режимы труда и отдыха водителей устанавливаются в соответствии с нормами, определяемыми трудовым законодательством и Положением о рабочем времени и времени отдыха водителей: с учетом этих норм должны

быть составлены графики работы водительского состава, расписания и графики движения транспортных средств в городском, пригородном и междугородном сообщении, организованы контроль за соблюдением установленного режима работы водителей, ведение документации по учету рабочего времени и времени отдыха.

Организация обязана обеспечить контроль за состоянием здоровья водителей, не допускать к управлению транспортными средствами лиц, находящихся в состоянии опьянения или в болезненном состоянии, для чего:

- организовать проведение предрейсовых, межрейсовых и послерейсовых (в зависимости от условий работы) медицинских осмотров водителей транспортных средств в порядке, определяемом Министерством здравоохранения и социального развития Российской Федерации;

- обеспечить учет и анализ данных медосмотров водителей с целью выявления водителей, склонных к злоупотреблению алкогольными напитками, употребляющих наркотические средства, страдающих хроническими заболеваниями.

#### **10.3.4 Поддержание необходимого уровня информативности, повышение профессионального мастерства и дисциплинированности водителей**

Организация обязана обеспечивать водителей необходимой оперативной информацией об условиях движения и работы на маршруте путем проведения инструктажей, включающих сведения:

- об условиях движения и наличии опасных участков, мест концентрации дорожно-транспортных происшествий на маршруте;

- о состоянии погодных условий;

- о режимах движения, организации отдыха и приема пищи;

- о порядке стоянки, охраны транспортных средств;

- о расположении пунктов медицинской и технической помощи постов Государственной автомобильной инспекции, диспетчерских пунктов, автовокзалов и автостанций; мест скопления людей;

- об изменениях в организации перевозок пассажиров и грузов, о порядке проезда железнодорожных переездов и путепроводов;

- об особенностях перевозки детей;

- об особенностях обеспечения безопасности движения и эксплуатации транспортных средств при сезонных изменениях погодных и дорожных условий;

- об особенностях перевозок опасных, тяжеловесных, крупногабаритных грузов (в соответствии с требованиями специальных нормативных документов);

- об изменениях в нормативно – правовых документах, регулирующих права, обязанности, ответственность водителей по обеспечению безопасности дорожного движения.

В организации должен осуществляться учет сведений о проведении указанных инструктажей.

Повышение профессионального мастерства водителей осуществляется путем организации занятий, необходимых для обеспечения безопасности дорожного движения периодичности, но не реже одного раза в год, по соответствующим учебным планам и программам ежегодных занятий с водителями. Сведения о прохождении курса занятий и сдаче зачетов занятости заносятся в личное дело водителя.

Организация имеет право не допускать водителя, не сдавшего зачет, к самостоятельной работе на линии. Водитель, не допущенный к самостоятельной работе, переводится с его согласия на другие работы. При невозможности перевода он подлежит увольнению в соответствии с действующим законодательством о труде.

С целью повышения ответственности водителей за выполнение требований по безопасности дорожного движения организация:

- осуществляет контроль за соблюдением водителями Правил дорожного движения, трудовой дисциплины, Правил перевозок пассажиров (грузов), Правил технической эксплуатации подвижного состава, временем выхода и возвращения с линии, соблюдением расписаний движения, наличием и состоянием водительских удостоверений перед выпуском транспортных средств на линию;

- организует в соответствии с действующими нормативными документами учет и анализ дорожно-транспортных происшествий, совершенных водителями организации, нарушений водителями и работниками организации требований безопасности движения, выявленных как сотрудниками Государственной автомобильной инспекции, так и работниками организации;

- оперативно доводит до водителей сведения о причинах и обстоятельствах возникновения дорожно-транспортных происшествий, нарушений Правил дорожного движения и других норм безопасности движения водителями организации.

### **Контрольные вопросы**

1. Какими свойствами характеризуется надежность водителя?
2. В чем заключается оценка работоспособности водителя?
3. Какими показателями можно оценить восстанавливаемость водителя?

## **11 АВТОМОБИЛЬНАЯ ДОРОГА И СРЕДА**

### **11.1 Надежность автомобильной дороги**

**Автомобильная дорога** — это комплексное транспортное сооружение, включающее проезжую часть и ее обустройство, сооружения, конструкции, элементы, направленные на обеспечение предъявляемых к дороге требований. Важнейшее из них — надежность, т. е. способность обеспечивать организованное, безопасное, удобное и комфортабельное движение

транспортных средств с расчетными скоростями, однородные условия движения; соблюдение принципа зрительного ориентирования водителей; удобное и безопасное расположение примыканий и пересечений; необходимое сцепление шин автомобилей с поверхностью проезжей части; необходимое обустройство дорог, в том числе защитными сооружениями; необходимые здания и сооружения дорожной и автотранспортной служб в течение нормативного или заданного срока службы.

Автомобильная дорога как элемент системы ВАДС имеет ряд особенностей, обуславливающих ее надежность.

Различные участки дорог нагружены существенно по-разному: годовой грузооборот на дорогах высших категорий во много раз больше, чем на остальных дорогах, поэтому трудности по обеспечению, например, безопасности движения, локализуются на ограниченной части дорожной сети; интенсивность движения по дорогам резко неравномерна по времени, так, в суточном режиме часы пик в дневное время чередуются с полной разгрузкой в ночные часы; существенные ограничения скоростей движения носят местный характер и ограничены на дороге отдельными ее участками — конфликтными зонами (местами возможных скоплений людей; местами обгонов и смены полос движения; пересечениями, разветвлениями и слияниями транспортных потоков; местами разворотов автомобилей и др.).

Дорога должна удовлетворять требованиям безотказности, долговечности и сохраняемости при воздействии транспортных потоков и среды пребывания.

Основное условие безотказности дороги состоит в том, чтобы скорость автомобилей на различных участках дороги менялась, возможно, меньше: дорога, по которой возможно движение с постоянной скоростью 60 км/ч, более безопасна и экономична, чем дорога, на которой скорости меняются на различных участках от 30 до 90 км/ч.

Имеется ряд причин, по которым на любой дороге существует та или иная вероятность возникновения отказа (ДТП).

Долговечность дороги измеряется многими десятилетиями и может быть на порядок выше долговечности автомобиля. При проектировании и строительстве дороги учитываются показатели существующих автомобилей и в лучшем случае требования к их ближайшей смене. Поскольку дорога должна служить для движения автомобилей нескольких поколений, условия движения (плотности потоков, скорости движения, масса транспортных средств и др.) меняются, возникают расхождения между проектными и требуемыми показателями. Как следствие, появляются опасные участки и необходимость в реконструкции то одних, то других участков, ставших опасным.

Дорога — дорогостоящее сооружение. Исправление ее недостатков сложно и не всегда возможно. Но и на вновь созданной дороге существует опасность отказов, обусловленных особенностями водителей и автомобилей. Дороги рассчитывают исходя из наибольшей возможной (по условиям движения и безопасности) скорости одиночных автомобилей при нормальных условиях погоды и сцепления шин автомобилей с поверхностью проезжей

части, которой на наиболее неблагоприятных участках трассы соответствует предельно допустимые значения элементов дороги.

Однако водители могут пользоваться заведомо опасными скоростями. Скорости могут быть опасны и для автомобилей, если они не соответствуют их эксплуатационным характеристикам, например, состоянию тормозной системы.

Безотказность дороги обеспечивается сочетанием прямых и косвенных факторов.

Прямые факторы — это дорогостоящие и трудоемкие строительные работы, обеспечивающие элементы дороги, такие как проезжая часть и обочины, продольные уклоны, кривые в плане и другие элементы, определяющие предельные скорости движения.

Косвенные факторы — это значительно менее дорогостоящие мероприятия по организации движения, направленные прежде всего на ограничения скорости движения с целью безопасности. Существенны и воздействия, обусловленные межэлементными связями между дорогой и остальными элементами системы ВАДС. Указанные факторы реализуются различным образом.

Особенностью автомобильной дороги является то, что это единственный элемент системы ВАДС, который круглые сутки в течение целого года, в любом районе страны испытывает все виды воздействий, обусловленные окружающей средой, — суточные, погодные, сезонные и климатические.

Надежность автомобильной дороги, как и других объектов, закладывается при проектировании, реализуется при строительстве, проявляется и поддерживается в процессе эксплуатации.

Основные критерии эксплуатационной надежности автомобильной дороги:

1) непрерывное безопасное и удобное движение транспортных средств с соответствующими скоростями в условиях свободного движения. При этом расчетными скоростями для легковых автомобилей в равнинных условиях является скорость 150 км/ч для дорог первой категории и 60 км/ч для дорог пятой категории;

2) работоспособность, фактическая по сравнению с требуемой, нормируемая, в первую очередь, по двум показателям — наибольшей расчетной скорости и нагрузке на одиночную наиболее нагруженную ось двухосного автомобиля;

3) срок службы (фактический по сравнению с требуемым). Верхний предел срока службы достигает трехкратной величины межремонтного срока (по капитальному ремонту), т. е. составляет от 90 лет для асфальтобетонных покрытий до 27 лет для щебеночных и гравийных;

4) степень резервирования по пропускной способности и по прочности дорожной одежды. Этот критерий приобретает особое значение в связи с большим сроком службы дороги — она должна служить и тем автомобилям, которые придут на смену и будут обладать большей грузоподъемностью, повышенными скоростными и тяговыми качествами.

Резервирование обеспечивается тем, что за расчетную принимается интенсивность движения, соответствующая ожидаемой на двадцатом году после сдачи дороги в эксплуатацию. При этом уровень загрузки дороги должен остаться приемлемым для дальнейшей эксплуатации;

5) ремонтпригодность, определяемую в соответствии с ГОСТ 27.002-89 и обеспечиваемую для всех сооружений дороги.

На автомобильных дорогах возникают состояния, соответствующие различным видам отказов: частичным или общим, постепенным или внезапным. Если возникла необходимость в ремонте дорожных покрытий, моста, одного из дорожных сооружений, если на том или ином участке дороги скорость движения недопустимо снизилась, то это частичный отказ. Его характерный признак в том, что ремонт производится с сохранением движения на дороге, например, объездом огражденных ремонтируемых мест. Ущерб от отказа будет определяться снижением скорости, уменьшением пропускной способности дороги.

Если работоспособность дороги постепенно снижается, например, разрушается дорожное покрытие, ухудшается микропрофиль дороги, а с ним и плавность хода автомобилей, падают скорость движения и пропускная способность, то наступает постепенный наиболее типичный отказ автомобильной дороги, определяемый ее долговечностью. Событие, означающее внезапный и полный отказ автомобильной дороги в целом, наступает сравнительно редко и вызывается разными причинами, например, стихийными бедствиями, катастрофическими разрушениями.

Ниже приведены элементы и сооружения автомобильной дороги и связанные с ними отказы.

*Земляное полотно* подвержено деформациям и разрушению: размывы насыпей, оползания откосов, переувлажнение полотна и потеря им несущей способности, обвалы на полотно, снежные заносы, затопления насыпей.

*Дорожные покрытия* испытывают деформации и разрушения, обусловленные некачественным выполнением работ.

*Дорожные одежды* деформируются, разрушаются (выбоины, просадки, проломы).

*Геометрические элементы дороги* вызывают ДТП, обусловленные малыми радиусами кривых, крутыми уклонами, необеспеченной видимостью, несоответствиями других элементов условиям деятельности водителей, работы автомобиля.

*Обустройство дорог* может привести к снижению пропускной способности и ДТП, вызванных различными причинами, связанными с дорогой, воздействиями на водителя, автомобиль (отсутствием или неправильной установкой дорожных знаков, разметки; недостаточным зрительным ориентированием водителей; неудачной планировкой пересечений и др.).

*Сооружения транспортного обслуживания* могут иметь такой отказ, как отсутствие топлива на АЗС, отсутствие свободных постов на СТО и т.д.

*Здания и сооружения для обслуживания проезжающих* не всегда обеспечивают для водителей отдых и питание.



*Специальные сооружения* приводят к задержке движения через туннели, галереи.

*Мосты* могут быть разрушены недопустимыми нагрузками, ледоходом, вследствие постепенного снижения прочности материалов.

*Трубы* разрушаются, размываются, их отверстия закрывает лед, снег и т. п.

Рассмотрим несколько факторов, оказывающих значительное влияние непосредственно на надежность автомобильной дороги и косвенно на остальные элементы системы ВАДС.

**Выбор трассы дороги.** Исследования показывают, что идеальным источником информации водителя может служить сама дорога, подсказывающая всей своей трассой, сочетанием с ландшафтом и средствами зрительного ориентирования направление и режимы движения. Реализацией этой идеи является ландшафтное проектирование.

Конечная цель состоит в том, чтобы трасса дороги была зрительно плавной и психологически ясной водителю. Поэтому еще на стадии проектирования большое внимание уделяется соблюдению принципов зрительного ориентирования (оптического трассирования). Учитывается, что, ведя автомобиль, водитель ориентируется по предметам, расположенным параллельно траектории движения автомобиля, таким, как края покрытий, ряды придорожных насаждений, осевой шов бетонных покрытий и др.; эти естественные ориентиры могут усиливаться искусственными, например, разметкой дороги. Водитель, обегая взглядом ориентиры, естественные и искусственные, строит в своем сознании как бы направляющий коридор, по которому он ориентирует движение автомобиля.

Водитель, скользя взглядом по прямой или плавной кривой, склонен ее мысленно экстраполировать, продолжать движение глаз по дальнейшему направлению, обусловленному сложившимся в сознании направлением. Считается, что дорога оказывает направляющее действие на водителя, вызывая у него своеобразную инерцию выбора направления движения, оказавшуюся достаточно мощным средством воздействия на выбираемый водителем режим движения. Таким образом, трасса дороги и элементы ее обустройства должны как бы подсказывать водителю направление, иногда режим дальнейшего движения.

Ошибки проектировщиков (неправильное трассирование дороги, например, неожиданно резкий поворот вместо кажущегося очевидным направления) могут быть истинной причиной грубых ошибок водителя, ведущих к ДТП.

Зрительная ясность дороги для водителя обеспечивается помимо перечисленных и другими средствами: выбором размеров кривых в плане и продольном профиле, плавным сопряжением с ними прямых участков, ограждением дороги, использованием направляющих столбиков, выделением краевых полос, укреплением обочин.

**Ограничения скорости движения.** Скорость автомобилей оказывает первостепенное влияние на эксплуатационную надежность автомобильных

дорог. Скорость при равномерном движении и ее редкие изменения в процессе движения влияют на пропускную способность дороги и безопасность движения.

Кривая, связывающая пропускную способность дорог с расчетной скоростью, имеет максимум: как при малой, так и при высокой скорости интенсивность движения падает. Расчет пропускной способности одной полосы проезжей части указывает на максимум пропускной способности при 60 км/ч и падение ее вдвое при скоростях 30 или 120 км/ч. Практические замеры показывают, что при благоприятных условиях движения однотипных автомобилей закон распределения скоростей близок к нормальному. Рассеяние скоростей в обычных условиях движения усиливается при наличии в потоке автомобилей с более или менее высокими тяговыми свойствами. Как следствие, скорости их заметно отличаются, что вызывает потребности в частых обгонах и свидетельствует о большей или меньшей вероятности появления ДТП. Наблюдения показывают, что средние квадратические отклонения скорости движения, при которых условия движения транспортных потоков могут считаться нормальными, не должны превышать на горизонтальном участке 5,5 км/ч; на кривых в плане участках с радиусом до 400 м – 6,0 км/ч; свыше 400 м – 6,7 км/ч; на участках подъема до 30 % – 7,0 км/ч; свыше 30 % – 8,5. Эти данные свидетельствуют о том, что по мере увеличения сопротивления движению разница в тяговых свойствах автомобилей более значительна.

Статистика показывает, что если на дороге имеется участок, на котором водитель должен резко снижать скорость автомобиля, то на этом участке число ДТП оказывается заметно большим, чем на других с мало меняющейся скоростью движения автомобилей. Поэтому с точки зрения безопасности движения допустимо при свободном движении изменение скорости при въезде на следующий участок не более чем на 20 %.

Если при переходе с одного участка дороги на другой отношение скоростей одиночного автомобиля находится в пределах 0,6 – 0,8, движение малоопасное, а в остальных случаях — опасное.

Существование участков дороги, требующих снижения скорости, обусловлено различными причинами: неблагоприятными участками плана или профиля (кривые малых радиусов, узкие мосты, участки ограниченной видимости и т. д.), трудными и неоднородными условиями рельефа, стремлением максимально снизить строительную стоимость, что приводит к сочетанию участков, допускающих высокую скорость, с местными, требующими резкого ее снижения.

Выравнивание скоростей движения достигается перестройкой в процессе реконструкции неблагоприятных участков дороги и изменениями в организации движения, предназначенной для обеспечения эксплуатационной надежности автомобильной дороги, путем назначения режимов движения (ограничения скоростей) на сложных участках, с учетом возможностей геометрических элементов дороги, требований к ее пропускной способности и безопасности движения. Сложными принято считать участки с конфликтны-

ми зонами, неудачными сочетаниями элементов трассы или с неблагоприятной обстановкой движения, вызывающими резкие изменения режимов движения.

Исходными для организации движения являются типы транспортных потоков, их характеристики.

**Типы транспортных потоков.** Безопасность дорожного движения, надежность дороги, водителя зависят в большой степени от интенсивности движения и плотности транспортных потоков. При малых плотностях взаимное влияние систем ВАДС невелико и действуют в основном межэлементные связи в каждой единичной системе ВАДС. С повышением интенсивности движения взаимное влияние систем растет и все большее значение приобретают межсистемные связи. В сплошном потоке действие межэлементных связей заметно ослабевает, водитель, например, лишается возможности выбирать режимы, так как движение возможно только со скоростью, близкой к скорости потока.

Многообразие режимов, возможное между крайними условиями движения, разбивается на четыре интервала — уровня удобства. На каждом — своя интенсивность движения, характерный режим движения, своя безотказность и характеристика отказов (ДТП).

При свободном потоке движение происходит без взаимных помех автомобилей, поскольку на дороге их сравнительно немного и загруженность минимальна. Здесь возможна наивысшая скорость автомобиля и сопутствующие ей типовые ошибки водителей: превышение действительной скорости над допустимой по условиям БД, потеря управления, несоответствие внимания водителя условиям движения. Как следствие, возникают характерные отказы: ДТП в результате превышения скорости (опрокидывание автомобиля).

При увеличении интенсивности движения возрастает влияние других автомобилей, следующих в том же направлении. Это с увеличением вероятности появления встречных автомобилей заставляет водителя быть более внимательным. Поэтому относительное число ДТП снижается.

Растущая интенсивность движения вызывает необходимость маневра, в частности при обгоне. При свободном движении возможен обгон без выжидания подходящего момента, когда освободится участок, необходимый для маневра.

За медленно идущим автомобилем скапливаются группы из двух-трех и более автомобилей. После осуществления обгона появляется участок со свободным режимом движения. Затруднения с обгоном изменяют структуру отказов, в результате чего на первом месте оказываются ДТП, обусловленные неправильным обгоном.

При дальнейшем повышении интенсивности движения оно становится еще более связанным: водитель длительное время ожидает условий для совершения обгона, возможного теперь при возрастающем риске. Число происшествий при связанном потоке достигает максимума. Дальнейшее увели-

чение плотности потока практически исключает обгоны. Интервалы между автомобилями все больше сокращаются, на дороге появляются колонны.

При уменьшении скоростей плотного потока, который иногда называют насыщенным, число ДТП уменьшается, и главным их видом становится наезд на впереди идущий автомобиль. В дальнейшем движение потока делается прерывистым. Периодические остановки вызывают появление пробок, и возникает постепенный наиболее серьезный отказ—уменьшение средней скорости транспортного потока и пропускной способности дороги.

## 11.2 Среда и надежность системы ВАДС

На надежность дороги, автомобиля, водителя может существенно влиять среда. Различают внешнюю среду, в которой пребывают дорога, автомобиль; внутреннюю среду — среду пребывания людей в автомобиле.

**Внешняя среда.** Внешняя среда (в дальнейшем просто среда) имеет ряд особенностей, с которыми надо считаться при оценке или обеспечении надежности дороги, автомобиля, водителя.

1. Среда существует объективно; ее параметры приходится считать заданными. Тем не менее, можно в ряде случаев компенсировать влияние среды на надежность системы ВАДС.

2. Параметры, характеризующие среду, зависят от климата, времени года, времени суток, погоды. Первые три понятия, в отличие от погодных влияний, статистически более устойчивы, лучше прогнозируемы.

3. Факторы, характеризующие среду, разнообразны и меняются случайным образом, среди них выделим: температуру и влажность воздуха, осадки (дождь и снег), туман, облачность и освещенность, продолжительность солнечного и темного времени суток.

4. Среда существенно влияет на элементы системы: дорогу, автомобиль, водителя, — а иногда и на подсистемы, в которые они входят: Туман, дорога имеют определенные характеристики, однако подсистема С-Д (дорога в тумане) обладает присущими только ей свойствами.

5. Среда по – разному влияет на элементы системы ВАДС: дорога неразрывно связана со средой, всегда находится под ее воздействием; воздействия эти различны, но климатические — постоянны; автомобиль при должном хранении находится под воздействием среды только в рабочее время, но может эксплуатироваться в любой климатической зоне, в любое время суток; водитель пребывает в течение рабочего времени в среде, опосредствованной автомобилем, предназначенной обеспечивать водителю высокий уровень работоспособности, комфорт (внутренняя среда). Таким образом, работоспособность водителя обусловлена воздействием как внешней (зрительное восприятие), так и внутренней среды.

Климатические условия характеризуются широкими пределами изменений параметров среды, прежде всего продолжительностью и суровостью зимы. Началом зимнего периода принято считать время, когда среднесуточная температура воздуха устойчиво сохраняет значения ниже 0°C. Для оцен-

ки зимы существенно число дней в году со снежным покровом. Движение зимой происходит при действии ряда климатических и метеорологических факторов (уменьшение солнечной активности, низкие температуры, облачность, туман, осадки, ветер, метели, гололед).

Начало и конец весеннего периода определяются средними суточными температурами от 0 до 15°C. Продолжительность весеннего периода составляет в среднем 30 – 125 суток. Неблагоприятные погодные факторы: резкие переходы от потеплений к похолоданиям, от сухой погоды к дождливой — относятся к первой половине весны.

Начало осеннего периода определяется среднесуточными температурами ниже 15 °С. Осенью увеличивается число пасмурных дней, часты моросящие дожди, сильные ветры. Во второй половине осени начинаются морозы, выпадает и тает снег. На автомобильных дорогах иногда до формальных признаков зимы, т. е. устойчивого периода со среднесуточной температурой ниже 0°C, могут возникнуть условия, типичные для зимнего периода. Осенний период продолжается примерно вдвое дольше весеннего и имеет различную продолжительность для разных районов страны.

Переходные периоды — осенний и весенний — составляют значительную часть времени года, причем меньшую в районах с континентальным климатом. Переходные и зимний периоды ухудшают надежность автомобилей и по – разному влияют на дороги. В осенний период проезжая часть дороги загрязняется, а ее эффективная ширина уменьшается, обочины разрушаются, снижается общая видимость, ухудшается видимость дорожных знаков и разметки.

В зимний период безотказность дорог зависит в большой степени от их содержания, так как протяженность участков, где возможен занос, достигает 84%. Зимой исчезают четкие границы земляного полотна, линии разметки, уменьшается ширина используемой проезжей части, ослабевают воздействия на водителя, обусловленные ландшафтным проектированием. Повышается скользкость покрытий, что увеличивает число ДТП.

Число ДТП, так или иначе связанных с повышенной скользкостью покрытий, достигает 40%, что косвенно свидетельствует о трудности эффективной борьбы со скользкостью покрытий в зимнее время.

Влияние среды на надежность системы ВАДС подчинено закономерности: минимальное число ДТП — зимой, весной их число растет; этот рост продолжается все лето и достигает максимума осенью. Влияние среды сказывается и на характере ДТП, соотношении двух основных видов отказов - опрокидывания и столкновения автомобилей, на которые приходится около двух третей всех ДТП с легковыми автомобилями. Зимой максимума достигают столкновения, а опрокидывания минимальны; летом соотношение становится обратным. Уменьшение числа случаев опрокидывания зимой объясняется сужением проезжей части дороги за счет отложений снега и льда и обусловленного этим уменьшения скорости движения. Увеличение числа столкновений осенью и зимой является следствием снижения сцепных качеств покрытия, а также фактического уменьшения ширины проезжей части,

поскольку автомобили движутся ближе к осевой линии дороги, что увеличивает вероятность встречных столкновений.

Влияние среды на БД может быть и косвенным. Например, рост числа ДТП летом объясняется увеличением интенсивности движения. А повышение аварийности в период октябрь – март обусловлено непосредственным воздействием среды: наибольшим количеством осадков, туманов, пасмурных дней, гололедом, сильным ветром. Суточные изменения среды характеризуются увеличением продолжительности темного времени суток, которое сочетается с противоположно действующим фактором - существенным падением интенсивности движения.

При движении ночью на прямом участке водитель может рассмотреть предметы, освещенные дальним светом фар, на расстоянии в 8 – 10 раз более близком, чем при нормальном освещении днем, т. е. расстояние видимости начинает не соответствовать выбранной водителем скорости, требуемой для уверенного движения. Статистика показывает, что в темное время суток, несмотря на резкое снижение интенсивности движения, число ДТП оказывается непропорционально высоким. Это особенно отмечается в вечернее время при движении без света фар в условиях ухудшения видимости, когда скорости снижаются незначительно, в среднем на 5 – 7 км/ч.

Ряд характеристик дороги и их элементов влиянию среды не подвержены: длина прямых и кривых участков, продольные уклоны, видимость в продольном профиле (геометрическая видимость), радиусы кривых в плане и т. п.

Ряд характеристик изменяется под влиянием среды кратковременно, в течение действия метеорологических факторов (туман, ветер и др.) или длительно, на протяжении времени года.

Существенно влияние среды на состояние дорожных покрытий и обочин, на метеорологическую видимость, отличающуюся от геометрической видимости, присущей только дороге и зависящей, например, от ее продольного профиля.

Наблюдения за прямым горизонтальным участком шоссе с тремя полосами движения в летний, весенний (ясная погода, влажное покрытие) и осенний (пасмурная погода, влажное покрытие) период показали, что ни хорошие эксплуатационные качества дороги, ни высокий уровень ее содержания не смогли компенсировать влияние внешней среды. Несмотря на то, что интенсивность движения была меньше расчетной, средние скорости движения понизились с 77 км/ч летом до 70 км/ч весной и 60 км/ч осенью.

Осенью при мелком дожде снижение скорости обуславливалось уменьшением коэффициента сцепления и опасностью потерять управляемость при въезде на грязные неукрепленные обочины. При сильном летнем дожде скорость резко падала из-за снижения видимости и потери ориентирования даже на дороге высокой категории с шероховатой поверхностью проезжей части и укрепленными обочинами. Наблюдения показали, что средняя скорость в дождливую погоду понизилась на уровне вероятности 33,7 % с 86 до 57 км/ч, а на уровне вероятности 85 % с 110 до 70 км/ч. Этим влияние до-

жда на безопасность движения не ограничивается. Если шероховатость покрытия уменьшается вследствие износа дорог, то чем более гладким является покрытие, тем тоньше должен быть слой грязи, при котором начинается скольжение колес.

Влияние погодных условий на сцепление колес с дорогой обусловлено также силами, действующими на автомобиль. Давление бокового ветра на автомобиль может стать особенно опасным при движении по кривым в план, если ветровая нагрузка совпадает с действием центробежной силы. Если выезд из зоны затишья на открытое место совпадает с сильным боковым ветром, то может возникнуть опасный боковой увод автомобиля и его занос, а при неудачных управляющих действиях водителя – и ДТП. К этому добавляется и влияние элементов дороги.

Метеорологическая видимость является серьезным фактором, определяющим скорости движения, пропускную способность дорог, безопасность движения. Известно, что водитель в лучшем случае воспринимает 20 % информации, создаваемой окружающей средой. В плохих погодных условиях (туман, дождь, снегопад), а также в пасмурную погоду видимость сильно ухудшается, особенно при загрязнении или помутнении ветрового стекла автомобиля. Капли дождя, стекая по ветровым стеклам, снижают видимость и контрастность дороги и автомобилей, затрудняют работу водителя. При сильном снегопаде видимость падает до 500 – 1000 м. При этом не только ухудшается метеорологическая видимость, но и сокращается на 20 – 50 % обзорность.

Ухудшают метеорологическую видимость и метели, так как снежинки уменьшают прозрачность воздуха, особенно при сочетании снегопада с ветром. Ветер заметно влияет на видимость: при слабом ветре она падает до 500 м, при сильном — до 200 м. Из метеорологических факторов метель — один из наиболее неприятных, поскольку она может охватывать большие территории.

Влияние метеорологической видимости на БД особенно заметно при туманах. Ухудшение видимости вызывает повышенную внимательность водителей — они снижают скорость, и все это на обычных дорогах может вызывать даже снижение числа ДТП. Но ухудшение видимости оказывает и обратное действие, особенно заметное в туман на скоростных магистралях, - число ДТП увеличивается почти вдвое. Наибольшей величины число ДТП в тумане достигает в утренние и ночные часы.

В целом надо отметить, что ограничение метеорологической видимости оказывает на водителя большее действие, чем ограничение геометрической видимости, обусловленное, например, продольным профилем дороги. Геометрические ограничения имеют обычно, местное значение, а метеорологические могут распространяться на десятки, а то и сотни километров, влиять на характер ДТП (растет число случаев цепных столкновений).

**Внутренняя среда.** Исследование условий работы водителей свидетельствуют о существенном значении параметров внутренней среды в автомобиле. Эти параметры лишь с большей или меньшей вероятностью соот-

ветствуют установленным нормам, что позволяет распространить понятие надежности и на систему, обеспечивающую условия обитания людей в автомобиле. Косвенным свидетельством ее недостаточной надежности в ряде случаев являются эксплуатационные наблюдения. По результатам опроса большого числа профессиональных водителей о влиянии факторов внутренней среды отрицательно оценен температурный режим в кабине (жарко летом, холодно зимой), 49% водителей; наличие токсичных веществ (загрязнение воздуха отработавшими газами) 60%; влияние вибраций 45%, шума 56% обследованных водителей.

Надежность устройств и подсистем внутренней среды определяется ее санитарно-гигиеническими показателями и работоспособностью средств информационного обеспечения (щиток приборов и другие аналогичные источники информации, необходимые водителю).

Санитарно-гигиенические условия характеризуются в первую очередь микроклиматом, составом воздуха в кабине или кузове вибрациями и шумом, воздействующим на водителя. Существует совокупность показателей санитарно-гигиенических условий, важных не только каждый в отдельности, но и в различных сочетаниях.

Климатические условия, влияющие на работоспособность водителя, определяются температурой воздуха в кабине, его влажностью, скоростью течения (обмена). Испытания показали, что в летнее время даже средние значения температуры воздуха в кабине автомобиля существенно превышают значения, допустимые по санитарным нормам. Например, в условиях жаркого климата температура воздуха в кузове легкового автомобиля на 8 – 10°С превышала наружную температуру и достигала 46 – 50 °С; в зимнее время при допустимой температуре +10°С (температура внешней среды - 30 °С) наблюдалось падение температуры в кабине до +2°С,

Последствия нарушений температурных воздействий и обусловливаемой ими теплоотдачи тела отражаются на показателях, непосредственно влияющих на надежность водителя: увеличивается время сенсомоторных реакций, нарушается координация движений. Кроме того, значительное понижение температуры воздуха в кабине вынуждающего водителя работать в громоздкой теплой одежде. Это затрудняет управление автомобилем, мешает восприятию необходимой информации — зрительной, звуковой, тактильной. Существует прямая связь температурного режима в кабине с числом ДТП: при изменении температуры воздуха оказалось, что при понижении ее до +10°С или повышении до +25° число ДТП возрастало примерно на 30% по сравнению с + 20°С.

В кабине или кузове должен быть воздухообмен: удаление продуктов дыхания и вредных примесей, обеспечение притока кислорода. При этом важны и скорость движения воздуха в кабине, и распределение воздушных потоков: малый воздухообмен вызывает застой воздуха в кабине и его загрязнение, а при большом воздухообмене увеличивается проникновение пыли в кабину и возникает сквозняк, приводящий к простуде водителя.



Состав воздуха в кузове или кабине автомобиля имеет существенное значение как по количеству кислорода, так и различных примесей - от окиси углерода, акролеина (токсичной составляющей отработавших газов дизелей) до минеральной пыли. Автомобиль не только загрязняет окружающую среду, но становится источником воздействия токсичных веществ на самого водителя. Окись углерода СО в количествах, превышающих допустимые значения (0,03 мг/л) при температуре +20°С может вызвать снижение внимания и притупление памяти у водителя даже при прочих комфортных условиях. Если температура воздуха в кабине растет, то допустимая концентрация СО падает (при T=+30°С вдвое). При контрольных проверках кабин грузовых автомобилей наблюдалась концентрация СО до 0,1 мг/л.

Токсичные вещества в кабине водителя при определенных условиях становятся опасными как при острых, так и хронических воздействиях: ускоряется развитие утомления, растет число ошибок при управлении автомобилем, тем более что к этим воздействиям организм не привыкает с течением времени.

Все это увеличивает вероятность появления ДТП.

В автомобиле имеется ряд источников шума: двигатель, неуравновешенные вращающиеся части, агрегаты трансмиссии, шины, тормоза, резонирующие элементы кузова и др. Внутренний шум в автомобиле обуславливает звуковое давление, действующее на водителя в широкой полосе частот 63–16 кГц. Дорожными испытаниями установлено, что в некоторых автомобилях (автобусах) уровень звукового давления в определенных октавных полосах звуковых частот может превосходить существующие санитарные нормы. Такие шумовые воздействия отражаются на работоспособности водителя — затрудняют прием и переработку информации, снижают точность и координированность действий.

### **Контрольные вопросы**

1. По каким показателям определяется продолжительность весеннего и осеннего периодов эксплуатации?
2. Какими свойствами характеризуется интенсивность транспортного потока?
3. Какая температура в салоне автомобиля является оптимальной для работы водителя?

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Авдонькин Ф. Н. Теоретические основы технической эксплуатации автомобилей: Учеб. пособие для вузов. — М.: Транспорт, 1985. — 215 с.
2. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения: Учеб. пособие для вузов.— М.: Транспорт, 1982.— 288 с.
3. Вентцель Е. С. Теория вероятностей. — М.: Наука, 1969. — 576 с.
4. Вентцель Е. С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: Учеб. пособие для студ. втузов. —М.: Издательский центр “Академия”, 2003. — 464 с.
5. Галушко В. Г. Вероятностно–статистические методы на автотранспорте. — Киев: Вища шк., 1976.
6. Голинкевич Т.А. Прикладная теория надежности: Учебник для вузов. — М.:Высш. Школа, 1977.—160 с.
7. Гурвич И.Б., Сыркин П.Э. Эксплуатационная надёжность автомобильных двигателей. — М.: Транспорт, 1984. —141 с.
8. ГОСТ 27.410–87. Надежность в технике. Методы контроля показателей надежности и планы контрольных испытаний на надежность. — М.: Изд-во стандартов, 1988. — С. 55.
9. ГОСТ 15467–79.[СТ СЭВ 3519—81]. Управление качеством продукции. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1987. — С. 30.
- 10.ГОСТ 27.002–89. Надёжность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 37 с.
- 11.ГОСТ 27674–88. Трение, изнашивание и смазка. Термины и определения. — М.: Издательство стандартов, 1988. — 21 с.
- 12.ГОСТ 18322 – 78. [СТ СЭВ 5151—85]. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. — М.: Издательство стандартов, 1991. — 15 с.
- 13.Крамаренко Г. В. и др. Техническая эксплуатация автомобилей. — М.: Транспорт, 1983. — 483 с.
- 14.Красовский В.Н., Кузнецов А.С., Попцов В.В. Основы теории надежности и техническая диагностика: Учеб. пособие.— Тюмень: ТюмГНГУ, 2001.—68 с.
- 15.Кузнецов Е.С. Техническое обслуживание и надежность автомобилей. — М.:Транспорт, 1972. — 224с.
- 16.Мишуринов В.М., Романов А.Н. Надежность водителя и безопасность движения. — М.: Транспорт, 1990.—167с.
- 17.Надежность и ремонт машин / В.В.Курчаткин, Н.Ф.Тельнов, К.А.Ачкасов и др.; Под ред. В.В.Курчаткина. — М.:Колос,2000. — 776с.
- 18.Некрасов В.К., Алиев Р.М. Эксплуатация автомобильных дорог: Учебник для автодорожных вузов. — М.: Высш. шк.,1983.—287 с.

19. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта / Минавтотранс РСФСР. — М.: Транспорт, 1988. — 78 с.
20. Решетов Д.М., Иванов А.С. Фадеев В.З. Надёжность машин. — М.: Высш. шк., 1988. — 238 с.
21. Ротенберг Р.В. Основы надёжности системы водитель–автомобиль–дорога–среда. — М.: Машиностроение, 1986.—216с.
22. СНИП 2.05.02–85. Автомобильные дороги /Минстрой России. — М.: ГУПЦПП, 1997.—55с.
23. Техническая эксплуатация автомобилей: Учебник для вузов / Е.С. Кузнецов, В.П. Воронов, А.П. Болдин и др.; Под ред. Е.С. Кузнецова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1991. — 413 с.
24. Трикозюк В.А. Повышение надёжности автомобиля. — М.: Транспорт, 1980.—88с.
25. Храмцов Н.В. Надёжность отремонтированных автотракторных двигателей. — М.: Росагропромиздат, 1989.—159с.

## СОДЕРЖАНИЕ

	Введение	3
1	Основные положения и определения надежности	4
1.1	Понятие надежности	4
1.2	Основные определения надежности	6
2	Причины изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации	9
2.1	Изнашивание	9
2.1.1	Теория изнашивания, объясняющая механизм механического истирания	10
2.1.2	Виды трения	12
2.1.3	Процесс изнашивания деталей	16
2.2	Пластические деформации и разрушения	19
2.3	Усталостные разрушения	20
2.4	Коррозия	20
2.5	Старение	20
3	Факторы, влияющие на интенсивность изменения технического состояния транспортных средств в эксплуатации	21
3.1	Конструктивные факторы	21
3.2	Влияние условий эксплуатации на изменение технического состояния подвижного состава автомобильного транспорта	23
3.3	Транспортные условия эксплуатации	27
3.4	Природно-климатические условия	28
4	Классификация отказов	30
5	Закономерности изменения технического состояния транспортных средств	33
5.1	Виды закономерностей изменения технического состояния транспортных средств	33
5.2	Основные понятия теории вероятностей и математической статистики	37
5.3	Модели законов распределения случайных величин	49
5.3.1	Нормальное распределение	50
5.3.2	Логарифмически нормальное распределение	52
5.3.3	Экспоненциальное распределение	53
5.3.4	Распределение Вейбулла - Гнеденко	53
6	Основные свойства надежности	56
6.1	Безотказность и ее показатели	57
6.2	Долговечность и ее показатели	61
6.3	Ремонтопригодность и ее показатели	63
6.4	Сохраняемость и ее показатели	65
6.5	Комплексные показатели надежности	66
7	Система сбора и обработки информации о надежности автомобилей	67

8	Нормативы технической эксплуатации автомобилей и методы их определения	74
8.1	Методы определения периодичности технического обслуживания	74
8.1.1	Определение периодичности технического обслуживания методом аналогий и уточнений	75
8.1.2	Определение периодичности технического обслуживания по изменению внешнего вида узла, механизма, соединения, материала	75
8.1.3	Определение периодичности ТО по допустимому уровню безотказности	76
8.1.4	Определение периодичности ТО по допустимому значению и закономерности изменения параметра технического состояния	77
8.1.5	Определение периодичности технического обслуживания по удельным затратам на техническое обслуживание и ремонт (технико – экономический метод)	80
8.1.6	Определение периодичности технического обслуживания экономико – вероятностный методом	82
8.1.7	Определение периодичности технического обслуживания методом статистических испытаний	84
8.2	Методы группировки операций	84
8.3	Определение трудоемкости технического обслуживания и ремонта	87
8.4	Определение ресурсов и норм расхода запасных частей	87
9	Система технического обслуживания и ремонта транспортных средств	89
10	Надежность водителя	94
10.1	Функции водителя	95
10.2	Особенности профессиональной деятельности	96
10.3	Обеспечение профессиональной надежности водительского состава	106
10.3.1	Прием водителей на работу и допуск их к осуществлению перевозок	106
10.3.2	Стажировка водителей	107
10.3.3	Поддержание и контроль состояния здоровья водителей в процессе их трудовой деятельности	107
10.3.4	Поддержание необходимого уровня информативности, повышение профессионального мастерства и дисциплинированности водителей	108
11	Автомобильная дорога и среда	109
11.1	Надежность автомобильной дороги	109
11.2	Среда и надежность системы ВАДС	116
	Список литературы	122

Учебное издание

Шарыпов Александр Владимирович, Осипов Георгий Владимирович

**ОСНОВЫ ТЕОРИИ НАДЕЖНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ СИСТЕМ**

Учебное пособие

Компьютерный набор: А.В. Шарыпов, Г.В. Осипов

Редактор: Т.В. Тимофеева

Подписано к печати  
Печать трафаретная  
Заказ

Формат 60x84/16  
Усл. печ. л. 8,0  
Тираж 200

Бумага тип. № 1  
Уч-изд. л. 8,0  
Цена свободная

РИЦ Курганского государственного университета.  
640669 г. Курган, ул. Гоголя 25.  
Курганский государственный университет.